100 AÑOS
DE
LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL
EN
LA ISLA DE TENERIFE

Y

SU SIMULACIÓN A TRAVÉS DE «UN» MODELO MATEMÁTICO DISTRIBUIDO

Aplicable en el resto de
del Archipiélago Canario
así como
en las islas volcánicas en general

Juan José Braojos Ruiz

Edita: Consejo Insular de Aguas de Tenerife CIATF
Imprime: Gráficas Sabater
Diseño de cubierta: Francisco Javier Mangas Falcón
Depósito legal:
Nº Registro propiedad intelectual:
ISBN:

AGRADECIMIENTOS

En este mi segundo libro renuevo mi agradecimiento a mis dos amigos Pepe Fernández y Adolfo Hoyos-Limón por los mismos motivos que en el primero. Pero en esta ocasión, redoblado, pues aprovechándome de su condición de jubilados les pedí me hicieran correcciones, sugerencias e incluso hasta ayuda para la maquetación del libro; tareas a las que, me consta, le han dedicado muchas horas. A esta operación de «refino» se unió, con igual ímpetu e interés, el también amigo y también jubilado, Escolástico Aguiar, quien además enriqueció el contenido del libro con sus aportaciones; gracias igualmente.

Con la misma intensidad extiendo también mi gratitud a Manuel F. Martínez Álvarez, Consejero del Área de Aguas del Cabildo de Tenerife, y a Javier Davara Méndez, Gerente del Consejo Insular de Aguas (CIATF), quienes conocedores del inicio por mi parte de la redacción del presente libro, cuyo tema fundamental iba a ser la descripción del modelo de simulación de la hidrología superficial en la isla de Tenerife (el MHSup), no dudaron en apoyar la idea y en animarme a continuar con el empeño. Apoyo que ha culminado con la edición del documento por parte del CIATF, por lo que también les reitero mi agradecimiento.

Sucede que la mentada descripción del modelo es apenas una parte del contenido del libro. Unos simples añadidos de comienzo acabaron empujándome a incluir, a modo de inventario, lo más significativo realizado en esta isla en materia de hidrología superficial, con la que me he visto inmerso muy a menudo a lo largo de mi vida laboral. Aunque ésta, funcionalmente, siempre ha estado vinculada a los recursos subterráneos, mis contactos con la hidrología de superficie han sido prácticamente permanentes. No obstante, debo reconocer que en la mayoría de los casos dichos contactos han sido circunstanciales y además debidos, por lo general, a propuestas puntuales por parte de amigos y compañeros que pusieron su confianza en mi persona cuando solicitaron mi colaboración.

Casi tan extensa como la lista de personas a las que debo esa infinita gratitud es la de los trabajos —compartidos en ocasiones con otros compañeros— que se me encomendaron. Esta segunda lista vendría a ser mi *currículum vitae* con la que justificar mi atrevimiento por escribir el presente libro. Sentía que debía hacerla constar también y, además, ligándola a la primera, de la que es consecuente; un cierto pudor me impedía hacerlo. Finalmente, animado por mi amigo Adolfo decidí incluir tales referencias en una adenda, al final del libro, a modo del «About the author» que parece cabe en una exposición de ese tipo; exposición que, además, me he tomado la licencia de hacerla en primera persona; mil perdones. Espero que en dicha adenda *estén todos los que son* –si no ha sido así pido perdón a quien haya omitido– aunque sí tengan por seguro que *son todos los que están*.

A varios amigos más que no figuran en esa exposición, también quiero hacerles llegar mi agradecimiento; como a *Francisco Correa Borges*, por su disponibilidad y colaboración cuantas veces le he consultado. A *Javier Leiva Romero,* por su paciencia con mis continúas rectificaciones a los gráficos. Gracias igualmente

a *Loreto García Fuentes* por su labor de búsqueda y selección entre su excelente colección de fotografías de obras hidráulicas. A *José Víctor Febles González,* quien localizó muchas de las relativas a los barrancos. A *Fernando Bonnet Sanz* y a *Damián Dorta Pérez* por su asesoramiento en las visitas a varias balsas y tomaderos de BALTEN; por las fotografías y por su valiosa documentación; similar a la que también me aportaron *Juan Antonio Medina y Benigno Quintero* de «sus» balsas; gracias también a ambos.

A *José Antonio Gonzálvez Fernandez,* quien en más de una ocasión distrajo varias horas de su tiempo libre para, entre ambos, hacer las probaturas de funcionamiento del «modelo»; además de haberme liberado en muchas ocasiones de mis habituales atascos informáticos. A *José Patricio Gonzálvez Padilla* por su ayuda con los códigos fuente en el proceso de calibración del «modelo»; por sus instrucciones para el manejo del MapInfo y por su buen hacer en la confección de los mapas temáticos. A *Eduardo García Salete*, quien desde la empresa INCLAM y a lo largo del proceso de modelización se implicó también en la revisión del extenso y complejo formulario, asesorándome y haciéndome oportunas sugerencias; también le agradezco su inestimable ayuda e infinita paciencia, atendiendo siempre todas mis consultas. Sin estos tres amigos dificilmente podría haber llevado adelante el MHSup.

A *Francisco Cabrera, Jorge Juan García y Felix Rosa* siempre dispuestos a facilitarme el acceso a los archivos del CIATF en busca de documentación.

A *Francisco Mangas Falcón*, pues además de ser el responsable de alguno de los gráficos del libro, se ofreció a elaborar la portada, cuya acertada y magnífica imagen es ya una invitación a interesarse en comprobar que hay detrás; gracias Paco.

Desde el CIATF, conté con la ayuda y/o colaboración de:

Alberto Hernández Tomey — *Alfonso Hernández Tomey* — *Ana Delgado Gallo*
Antonio Delgado Rodríguez — *Candelaria Vara* — *Carlos Braojos Corrales*
Carlos Iván Alvárez Rodríguez — *Carlos Pérez Ortega* — *Cecilia García Reino*
David García Galván — *Elia Royo Hardisson* — *Eva González Afonso*
Francisco Estévez Estévez — *José Mª Hernández Toste* — *Juan A. Folch Machado*
Juan Coello Bravo — *Lucía Aguado García* — *María José Peraza Mora*
Marta Suárez Rodríguez — *Mensi Alvarez Ledesma* — *Oscar Campo González*
Ricardo Balcells Herrera — *Roberto Padilla Cruz* — *Roberto Hernández Bello*
Ruth Quintero Brito — *Sergio Ruas González* — *Vicente Serra García* — *Zoraida Oliva Pérez*

También lo hicieron:

Alejandro Barreda (CIVILPORT) — *Cinta Luengo (INCLAM)* — *Cruz Suárez Herrera*
David Tabernero (INCLAM) — *Juan Carlos Santamarta Cerezal (ULL)*
Juan José Braojos Corrales — *Rufino García Fernández (URBEING)*

A todos, muchas gracias

DEDICATORIA

En la dedicatoria de mi anterior libro comentaba el entusiasmo con que esperaba que mi niña Naira se pasara por casa para cambiar el «chip» y ponerme a reir y jugar con ella. Justo cuando iniciaba la redacción de este segundo vino al mundo mi nieto Luca y, lógicamente, a partir de entonces las interrupciones se duplicaron, pero benditas interrupciones. Cuando escucho detrás de la puerta algo así como: «abu Pepe abre soy Luca», me olvido de todo pues sé que a partir de ese momento no voy a dejar de jugar con él, de reirme y de sorprenderme con sus preguntas y detalles de pequeño hombrecito,... a partir de ese momento no haré otra cosa que disfrutar de mi niño Luca, a quien dedico este libro con todo mi cariño.

* * *

PRÓLOGO

Hace unos años (2015) publicó el Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF) el libro "**La nube, el pino y la otra lluvia**" del que también fue autor Juan-José Braojos Ruiz. Dicho libro es un verdadero tratado -exposición integral, objetiva y ordenada de conocimientos sobre una cuestión o tema concreto- sobre el potencial para captar el *agua de niebla* en Tenerife y la generación de lo que comúnmente se ha dado en llamar *lluvia horizontal*. También en aquel momento el autor me ofreció redactar su prólogo, que -como en este caso- acepté como un reto dada la importancia de su obra.

En este caso la tarea del autor ha sido mucho más compleja y densa, pero no por ello menos interesante y apasionante; por el contrario, supone la expresión documentada y completa de *la Hidrología de Superficie de Tenerife y su simulación mediante un modelo matemático*. Una materia que puede ser catalogada como *para especialistas*, lo que puede retraer a algún lector; pero el estilo dinámico del autor y su impregnación de referencias y anécdotas nos conduce a contagiarnos de su pasión por este tema, haciéndolo más asequible.

Procuraré no repetirme con el prólogo anterior, salvo en la imprescindible glosa del autor, para quien no lo conozca, y en algunas cuestiones comunes, que son inevitables.

Juan–José Braojos Ruiz, ingeniero técnico de obras públicas e hidrólogo, llegó a Tenerife hace unos cuarenta y siete años (**dic-1972**), formando parte del equipo técnico de una empresa consultora, para realizar el inventario de las obras de captación de aguas subterráneas de esta provincia, dentro del Proyecto Canarias SPA-15. Los canarios en general, y los tinerfeños en particular, hemos tenido la suerte de que haya echado raíces en esta tierra y mantenido, desde entonces, una continuada, intensa, valiosa y autocrítica labor profesional; siempre al servicio de la Administración Hidráulica, pero con una clara actitud de colaboración y asistencia a los administrados.

Su trayectoria siguió el mismo proceso de descentralización de la Administración; así, pasó del Servicio Geológico de Obras Públicas y el Servicio Hidráulico Provincial de Santa Cruz de Tenerife (órganos del antiguo M.O.P.), a la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas del Gobierno de Canarias y –desde 1995– al Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF), dónde primero fue jefe del Departamento de Aguas Subterráneas y seguidamente jefe del Área de Recursos Hidráulicos del organismo.

Fue coautor o colaborador directo de numerosos estudios y trabajos específicos básicos: Proyecto Canarias SPA-15 (1970-1975), Proyecto MAC-21 (1978-1983), Plan de Balsas del norte de Tenerife (1980), Programa de Reutilización de aguas residuales depuradas de Tenerife (1984), Proyecto Canarias Agua-2000 (1985-1987), Plan Hidrológico Insular de Tenerife (PHITF; 1988-1995) y Avances de los P.H.I. de El Hierro, La Gomera y La Palma, Plan de Defensa frente a Avenidas de Tenerife (PDA; 2007-2010) y del nuevo Plan Hidrológico de Tenerife (PHT; 2007-2014). Es decir, tuvo un papel muy importante en la redacción de los principales trabajos relativos al agua en esta provincia, hasta su jubilación en **enero de 2010**. Además, en su labor habitual como funcionario –primero en el Servicio Hidráulico Provincial y luego en el CIATF– participó en la realización de estudios y redacción de informes técnicos sobre los asuntos y expedientes ordinarios que le fueron asignados.

Pero tras su jubilación no se ha limitado a disfrutar de un merecido descanso, sino que ha mantenido una continuada actividad técnica y profesional como asesor del CIATF y de Balsas de Tenerife (BALTEN) en numerosos informes de su especialidad: la hidrología.

Primero, he sido *testigo* de su quehacer profesional y, luego, tuve el privilegio de dirigir sus tareas, como *colaborador, inductor y cómplice* de las mismas, conformando una entrañable *amistad* personal. Como tal, me posiciono a exponer ésta, su segunda obra.

En términos cuantitativos, la aproximación al conocimiento de las fases y magnitudes del ciclo hidrológico se realiza estableciendo *balances* en cada etapa del mismo, bajo el principio de mantenimiento de la cantidad (masa o volumen) de la materia (el agua). Definido un dominio tridimensional concreto y un intervalo de tiempo determinado se establecen las ecuaciones que rigen la relación entre las distintas magnitudes hidrológicas que definen los flujos de agua y sus cambios de estado, para que la cantidad de agua permanezca constante.

En una isla la primera aproximación que se hace –en términos de balance– es *en la superficie* del territorio, teniendo bien definido el dominio físico por el perímetro costero y limitando su espesor al suelo edáfico que pueda retener agua. El flujo incidente o de entrada viene dado por la confluencia de las distintas magnitudes de la *precipitación*: *lluvia* convencional, *nieve* y condensación atmosférica (principalmente la que se ha dado en llamar "*lluvia horizontal*" o "de niebla"). El flujo de salida también es otro mix de magnitudes: *evaporación* y *transpiración* (englobados como *evapotranspiración*), la *escorrentía* superficial y la *infiltración*. El balance hidrológico de superficie se cierra conceptualmente con la *variación de las reservas en el suelo* edáfico por una oscilación en la retención del mismo.

Estas magnitudes presentan variaciones notables en el espacio y en el tiempo; los indicadores más extendidos corresponden –en términos absolutos– a globalizar o sumar a escala insular los volúmenes (m^3, hm^3, …) de cada magnitud hidrológica en el período de tiempo considerado (día, mes, año, …) o –en términos específicos relativos– expresados por unidad de superficie (L/m^2, hm^3/km^2, …) lo que también equivale a expresarlos como una altura (p.e. mm).

La cuestión es que la medida directa de dichas magnitudes es en verdad muy escasa (objetivamente sólo la precipitación directa, con pluviómetros y nivómetros) y de forma puntual en lugares concretos del territorio; por lo que la evaluación de las demás magnitudes se realiza por métodos indirectos (p.e. variables climatológicas registradas en estaciones meteorológicas, aforos, ensayos de campo, observación, …) –apoyados en otras técnicas y disciplinas– y estableciendo algoritmos de extrapolación e interpolación en el espacio y el tiempo.

La calidad de estas evaluaciones depende para cada magnitud, en cada lugar y en cada momento, de los *datos registrados* disponibles y de las *metodologías* e instrumentos aplicados.

Obviamente cualquier planificación hidrológica debe contemplar todas las magnitudes que intervienen en el ciclo hidrológico y, a ser posible, con la mayor precisión posible. Pero en cada caso se apoya en los datos y metodologías disponibles en ese momento.

En 1989, por el impulso del entonces Presidente del Cabildo Insular de Tenerife (Adán Martin Menis), se convino con el Gobierno de Canarias que el Cabildo Insular iniciase la redacción del Plan Hidrológico Insular (PHI), adelantándose a lo que luego determinaría la Ley de Aguas de Canarias de 1990 y de la constitución del correspondiente Consejo Insular de Aguas. Desde el Servicio de Planificación Hidráulica pedimos desde un principio la participación y colaboración en esa tarea de J.J. Braojos.

Desde el **enfoque inicial del PHI** se planteó la necesidad de definir una metodología sólida, congruente y avanzada (faltaban analogías externas) para desarrollar los balances hídricos de Tenerife, con una atención preferente a los recursos subterráneos (el 90% de los disponibles) pero donde era imprescindible partir de la información hidrológica de superficie. Hubo diversos devaneos metodológicos con las definiciones del *modelo conceptual* y el *modelo de datos* hasta cristalizar en dos submodelos: uno de superficie, que requería desarrollar un *modelo matemático lluvia-infiltración* (el objeto de este libro), y otro *de flujo subterráneo*, que se apoyaba en los resultados del anterior. Como es regla imprescindible, el éxito de la misión dependía del

equipo humano (su embrión en la primitiva oficina del PHI), en el que fueron claves J.J. Braojos, Jose-Manuel Navarro (+), Isabel Farrujia y Pedro Delgado, y de los consultores colaboradores (INCLAM y SURGE). La redacción del PHI fue intensa y apasionante, con el apoyo político sucesivo de Adolfo Hoyos y Ricardo Melchior, hasta su aprobación definitiva (dic-1996); convirtiéndose en el primer plan hidrológico de cuenca aprobado en España.

El primer *modelo de datos de la hidrología de superficie* de Tenerife se soportó en formato ráster (matricial), en una cuadrícula de 1000m x 1000m, obteniendo finalmente los valores de cada variable hidrológica en el centro de cada celda y en cada mes. Pero la formulación matemática para llegar - desde los datos registrados en las estaciones meteorológicas disponibles y de los parámetros del territorio y el suelo - hasta esa matriz de resultados (ahora ya en celdas de 200m x 200m) en cada momento temporal (durante 71 años, más de 850 meses) ha sido ardua, compleja e inextricable. Ese entramado ha sido en gran medida el trabajo de J.J.Braojos durante las tres últimas décadas y que el autor desentraña detalladamente en este libro.

Primero, accediendo a todos los datos registrados, sistematizándolos, contribuyendo a que en el futuro se pudiesen actualizar (aumentando las series temporales disponibles) o extender (detectando lagunas territoriales a completar). Luego, seleccionando las metodologías e instrumentos disponibles más apropiados y, en su caso, desarrollando (p.e. modelos matemáticos específicos, mediante fórmulas empíricas) los que fuesen necesarios para mejorar los resultados. Finalmente, aplicándose a obtener los resultados, analizando su coherencia y realizando validaciones. Este proceso continuado ha llevado a tener cada vez resultados más precisos y fiables.

Puestos en el contexto tecnológico actual, el trabajo realizado se aproxima, de una parte, a la obtención de un *Big Data hidrológico* de Tenerife y, de otra, a la realización de una auténtica *minería de datos*, donde se ha sustituido el aprendizaje mediante inteligencia artificial por métodos tradicionales, aplicados sistemáticamente con el debido rigor conceptual, combinando procesos deductivos con otros inductivos, apoyados y validados siempre en un contraste empírico. En un momento en el que abundan las "*fake news*" e incluso algunas formulaciones técnico-científicas poco rigurosas que se apartan de la aplicación estricta del método científico, es muy loable la realización de este modelo (ahora ya en su quinta versión, mejorando teórica y conceptualmente la evaluación de la evapotranspiración) y el esfuerzo que supone exponer todos sus detalles en este libro. De forma pausada, concreta, precisa, documentada, ilustrada, razonada, rigurosa, clara y amigable; un verdadero reflejo de la personalidad del autor.

Sin duda *este libro* constituye una base muy valiosa para los profesionales, alumnos universitarios y estudiosos de la hidrología superficial, especialmente si la trasmisión del conocimiento se desarrolla mediante talleres monográficos. Pero también para dar solidez a la *aplicación del modelo matemático* disponible (ahora la v5), continuar el proceso de mejora de esta herramienta y su aplicación en el *análisis de tendencias*, no sólo de los procesos cíclicos naturales sino especialmente las correspondientes al *cambio climático*. Las simulaciones de escenarios futuros permitirán definir actuaciones para *mitigar* los efectos, no solo globalmente en la isla, sino con sus *variaciones territoriales* por comarcas.

Todo lo expuesto constituye suficiente motivación para que el Cabildo de Tenerife –a través del CIATF- haya considerado procedente editar esta primera versión del libro, en la que el autor da respuesta al reto de desentrañar y difundir el contenido de la historia de "cien años de la hidrología superficial de Tenerife y su simulación mediante un modelo matemático".

Gracias a Manuel Martínez (Consejero Insular de Aguas), Javier Davara (Gerente del CIATF) y al autor -mi amigo Pepe-, por darme la oportunidad de prologar este libro.

Santa Cruz de Tenerife, 6 de febrero de 2019.

JOSÉ D. FERNÁNDEZ BETHENCOURT, Ing. CCP.

ÍNDICE GENERAL

BLOQUE 1º

INTRODUCCIÓN Y DATOS GENERALES 15

BLOQUE 2º

LOS RECURSOS ATMOSFÉRICOS Y LOS RECURSOS SUPERFICIALES EN EL BALANCE HÍDRICO INSULAR 35

BLOQUE 3º

LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS EN TENERIFE 165

BLOQUE 4º

EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL 199

BLOQUE 5º

EL MODELO MATEMÁTICO: «LLUVIA – INFILTRACIÓN» PARA LA SIMULACIÓN DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL EN LA ISLA DE TENERIFE 307

BLOQUE 6º

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN TENERIFE. 413

BLOQUE COMPLEMENTARIO

EL CONTROL Y LA GESTIÓN DE LA RED DE DRENAJE NATURAL EN IMÁGENES. 429

NOTA: El índice completo se encuentra al final del libro.

B L O Q U E 1º

INTRODUCCIÓN

Y

DATOS GENERALES

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

En casi todos los trabajos de hidrología que he tenido ocasión de consultar es común resaltar las trabas que deben afrontar sus autores para sacarlos adelante; sobre todo con la información climatológica. En algún caso es la baja densidad de estaciones, en otras la poca extensión de las series climáticas o las lagunas de registros… Pues bien, en Tenerife, a partir de las iniciativas de varios organismos públicos, se ha llegado a disponer de una excelente red conjunta de control climatológica, tanto en número de estaciones como en calidad de datos. Lamentablemente, durante estos últimos años, por diversas circunstancias, determinadas estaciones –generalmente pluviométricas–, se han ido abandonando, interrumpiendo su serie de registros cuya extensión en algún caso alcanzaba los cincuenta años. Se limitaba así el uso de la estación a trabajos contemporáneos con su período de actividad; y, además, se imposibilitaba poder comprobar si realmente la media de su serie se había estacionalizado definitivamente o si, por el contrario, su prolongación evidenciaba variaciones tendenciales en uno u otro sentido; cuestión ésta de relevante importancia en el momento actual. De la misma forma, determinados estudios (pluviométricos, hidrológicos, balances hídricos…) se han adoptado definitivamente como representativos, consolidando sus resultados sin que el paso del tiempo haya dado lugar a posibles revisiones.

Sucede que desde hace décadas se nos viene alertando de la ocurrencia de importantes cambios en la climatología del planeta que ya se están confirmando. El calentamiento global que se viene percibiendo y la alteración del régimen de las precipitaciones –más imprecisa de constatar por su mayor aleatoriedad– son los principales indicadores de que ya está teniendo lugar el cambio climático. El incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) ha provocado el aumento paulatino de la temperatura; y aún es de esperar, tal como nos advierten también, que a más largo plazo todo el ciclo hidrológico pueda verse afectado, con consecuencias tanto para las disponibilidades de recursos hídricos, que se resentirían irregularmente, como para los sucesos meteorológicos extremos los cuales serán más intensos y frecuentes.

La planificación hidrológica no podía obviar tales previsiones. Al respecto, se han venido elaborando informes de diagnóstico y de predicción que suelen tener su sustento en herramientas construidas al efecto, como los modelos de simulación a escala global, europea o española. Entre éstos últimos, el SIMPA (Sistema Integrado de Modelización Precipitación Aportación)[1] es un modelo *precipitación-escorrentía* desarrollado por el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento) que simula procesos del ciclo hidrológico relacionados con los recursos hídricos, las crecidas e incluso la calidad de las aguas. El Libro Blanco del Agua lo adoptó para la evaluación de recursos hídricos a escala

1 Estrela y Quintas, 1996; Cabezas et al., 2000; Ruiz, 2000

nacional. Además, ha sido una herramienta básica en el proceso de planificación hidrológica y en estudios de diversas cuencas hidrográficas peninsulares.

Por esas fechas –inicio de los años noventa–, en el Cabildo Insular de Tenerife y su continuidad en el Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF) ya se trabajaba en la elaboración de una aplicación informática que siendo similar al SIMPA respecto de su objetivo era diferente en varias fases del procedimiento: el Modelo Matemático de Simulación de la Hidrología Superficial en Tenerife (MHSup) que, aun siendo consecuente con los fundamentos generales de la hidrología, incorporaba al proceso de cálculo varias variables inherentes a la climatología, geomorfología, edafología, …de la isla. Puesto al día hasta la fecha mediante las correspondientes revisiones y prolongaciones de las series de datos climatológicos, ha sido una de las herramientas básicas para la planificación hidrológica insular. Complementariamente, el MHSup también se ha usado para hacer análisis tendenciales y de prognosis relativos a las variables climáticas e hidrológicas que participan en el Balance Hídrico Insular (BHI).

En relación con dichos análisis tendenciales, viene al caso comentar que en el año 1916, es decir justo 100 años antes de iniciar la redacción de este documento, se creó el Observatorio Central Meteorológico de Izaña. La información aportada por esta estación, complementando la de otro par de estaciones históricas (Laguna Instituto y Santa Cruz) permite acometer determinados análisis –entre ellos los tendenciales– relacionados con la precipitación y la temperatura, a partir de series de registros de al menos 100 años de extensión.

También en 1916 tuvieron lugar dos hechos ciertamente significativos para la hidrología superficial de aquella época, como lo fueron la concesión administrativa para la explotación de las aguas superficiales en la presa de Tahodio y la puesta en explotación de la primera gran presa de Tenerife: la de Tabares o Reverés. 100 años después, se está a la espera de poder reanudar la actividad en la primera; mientras que la segunda ha venido explotando, sin interrupción, las aguas superficiales que intercepta en el cauce de su barranco tributario.

En 1916, el Consejo Provincial de Fomento de Canarias editó el documento «Estudios sobre Riegos» por cuyo contenido y objetivos bien podría asimilarse a un Plan de Obras Hidráulicas, aunque limitado territorialmente a la vertiente sur.

Tales sucesos centenarios tuvieron consecuencias inmediatas: el primero dio lugar a los primeros bosquejos de estudios hidrológicos; los siguientes fueron un estímulo para las iniciativas de aprovechamiento de las escorrentías superficiales, que se vio reflejado en la aparición de nuevas explotaciones. Todas las «grandes presas» que en esta isla tienen ese calificativo se ejecutaron después de 1916.

Cuando a mediados del año 2016 inicié a redacción del presente documento, no tuve duda que su contenido tenía concentrarse en describir los últimos «***100 años*** *de la hidrología insular y su simulación mediante un modelo matemático distribuido*», tal como nos adelanta el título del libro.

I.1.DE LA CONSTRUCCIÓN DEL MHSUP DE TENERIFE

A pesar de que el índice e incluso el título apuntan un contenido relativamente extenso y variado –relacionado en todo momento con la hidrología superficial en Tenerife–, en realidad, el motivo inicial que me llevó a su redacción no fue otro que ofrecer, tal como se me solicitó, la descripción del mencionado MHSup.

Se trata éste de un modelo distribuido en el espacio –la isla se discretiza en celdas de 200m x 200m– y en el tiempo –se opera con periodicidad diaria y mensual–, construido en su día en base a «una» metodología de cálculo cuya estructura conceptual tuve el privilegio de elaborar, pero también el atrevimiento de proponerla para su aplicación en esta isla. En aquel momento era consciente de que dicha estructura no seguía, en alguno de sus apartados, los pasos establecidos en los procedimientos tradicionales al uso; circunstancia que comenté a la dirección del Avance del Plan Hidrológico Insular de Tenerife (PHI) cuando decidió apoyar mi propuesta de modelo de simulación y encargó su trasposición al lenguaje informático.

Todos y cada uno de los algoritmos introducidos en el proceso, para dar respuesta a las singularidades específicas que diferencian la hidrología insular de la continental, se exponen con detalle en el bloque quinto de este libro.

I.2. ACERCA DEL DOCUMENTO

I.1.2. Objetivos principal y generales

La exposición descriptiva del MHSup debía de ser, pues, el objetivo principal de este documento; no obstante, la ocasión era tentadora para, aprovechando el encargo, ampliar la exposición a otros temas relacionados con la hidrología local. Determinadas circunstancias, con elementos comunes entre sí, invitaban a hacerlo:

Respecto de los balances hídricos (BHI) históricos:

- Existe cierta controversia con respecto a los valores deducidos para la evapotranspiración y la infiltración. Desde determinadas instancias se argumentaba que la primera estaba infravalorada; sin embargo, desde otras se defendía lo contrario: se había sobrevalorado en detrimento de la infiltración. Qué mejor ocasión para hacer las aclaraciones pertinentes.

Por otro lado, quien suscribe se precia de:

- Haber participado, como autor o coautor, en muchos de los estudios hidrológicos ligados a Proyectos, Estudios o Planes Hidrológicos.
- Haber tenido ocasión de examinar un buen número de estudios, análisis o informes hidrológicos cuando como funcionario del CIATF, era el responsable del área de recursos hidráulicos.
- Pero, sobre todo, haber dedicado buena parte de mi carrera profesional a la hidrología superficial en general pero muy particularmente a la de Tenerife, lo que me permitió acumular conocimientos y experiencias que siempre he deseado compartir. El presente documento parecía la vía de transmisión ideal.

En relación con el origen y construcción del MHSup es de significar que:

- La idea de construir «un» modelo de simulación de la hidrología insular surgió, precisamente, a partir del análisis de algunos de esos estudios hidrológicos. Valía la pena, pues, hacer referencia a esos y a otros estudios, cuyos contenidos han servido de guía para elaborar este modelo, aplicable a Tenerife y, al menos conceptualmente, al resto del Archipiélago.

En relación con el aprovechamiento de las aguas de escorrentía superficial:

- Existe la percepción de que se pierde gran cantidad del recurso en el mar.

Sin embargo:

- Parece que está todo hecho en cuanto a su captación y aprovechamiento.

No estaba por demás hacer un ejercicio de comprobación al respecto.

I.2.2. Contenido y estructura

A resultas de tales reflexiones, al documento se le fueron incorporando una serie de temas que se estructuran en seis bloques principales más un complementario:

1. El primer bloque contempla, además de la Introducción, algunos aspectos generales de la isla, así como determinadas particularidades que diferencian la hidrología insular de la continental.
2. En el segundo se repasa el proceso de implantación de la Base de Datos Climáticos e Hidrológicos en la isla de Tenerife; repaso que culmina con la definición y evaluación, cuantitativa y territorial, de cada una de las variables atmosféricas e hidrológicas que participan en el Balance Hídrico Insular (BHI), cuyas fases evolutivas también se describen y comentan.
3. En el tercer bloque se hace inventario de los estudios hidrológicos más significativos realizados en la isla en las diez últimas décadas a fin de dar una idea de cuál era el estado del arte en la materia a lo largo de ese período.
4. En el cuarto se describe la situación de la explotación de las aguas de escorrentía en la isla y los distintos tipos de aprovechamiento.
5. En el quinto se hace la descripción conceptual del MHSup y su transcripción al lenguaje matemático, mediante la exposición de los fundamentos teóricos que lo respaldan, así como del proceso metodológico y las funciones que lo conforman. Dentro de esa descripción, se analizan las mentadas singularidades de la hidrología insular, a base de justificar la simulación empírica propuesta para cada una de ellas.
6. El sexto se dedica al Cambio Climático en Tenerife, haciendo análisis tendenciales y de prognosis con cada uno de los elementos del BHI.

En el bloque complementario se hace un sucinto repaso de la normativa rela-

cionada con la Red de Drenaje Natural (RDN) y se examinan varios temporales de lluvia; en ambos casos con el apoyo de imágenes alusivas al texto.

Quien sólo desee conocer la descripción conceptual del MHSup puede prescindir de la lectura de los restantes bloques acudiendo directamente al quinto.

I.2.3. Del texto escrito

Como soy partidario del uso de viñetas en el texto, pues entiendo que facilita una lectura más ligera y seleccionable, el formato literario es el de un informe o dictamen técnico –similar al del libro *La nube, el pino y la otra lluvia*– cuya exposición se complementa con numerosos -y en ocasiones extensos- pies de página, que incluyen comentarios y aclaraciones de los que puede prescindirse sin que suponga perder el hilo de la exposición. Todo ello redactado, pienso y espero que así sea, con un lenguaje sencillo en el que los vocablos técnicos se han restringido a lo imprescindible.

Cada capítulo de este libro, aunque relacionado siempre con la hidrología superficial, contempla distintas temáticas. Lo más probable es que el lector sólo se interese por alguna de ellas, por lo que se ha confeccionado un índice muy desarrollado que facilite la localización del tema a consultar.

Dado el amplio abanico de temas abordados, determinados aspectos inherentes al proceso de cálculo del MHSup se repiten en más de un bloque del libro. Para el lector que esté interesado en sólo alguno de esos temas le será más amigable la lectura si se prescinde, en lo posible, de las reseñas a otros capítulos o apartados.

I.2.4. De la documentación fotográfica



Figura 1. Balsa de Trevejos en Vilaflor (CIATF)

Salvo un pequeño grupo de fotografías facilitadas por terceros, la gran masa de documentación gráfica que jalona las páginas del libro es cedida por el CIATF y por BALTEN o de producción propia. Entre ellas existen notables diferencias de calidad por lo que me ha parecido procedente hacer algunas aclaraciones.

Desde hace años los técnicos y los vigilantes de obras y cauces del CIATF disponen, para recoger gráficamente su actividad de campo, de cámaras digitales -cada vez con mejores prestaciones- que, junto al buen hacer de sus usuarios, permiten obtener imágenes de calidad. Pero además, cuando se trata de complementar determinados documentos oficiales o de publicitar ciertas actuaciones, disponen de una experta fotógrafa: Loreto García Fuertes.

Por otro lado, en los primeros años de la década de los años noventa quien suscribe junto con el amigo y compañero Oscar Hernández Pacheco recorrimos palmo a palmo la geografía del sur de la isla y buena parte de la del norte. Además de las pertinentes notas de campo tomamos entre ambos más de 3.000 fotografías de detalle o panorámicas, construidas éstas con hasta cuatro tomas solapadas entre sí. Su inclusión entre el texto del libro obedece a dos razones:

- En muchos casos son más convincentes que las descripciones escritas.
- Un buen número de ellas se localizan en lugares lejanos a los accesos rodados e incluso a pie a los que, por motivos obvios, ya no tengo ni tendré ocasión de volver a descubrir.

Alguna de ellas debía formar parte del libro.



Figura 2. Barranco Las Torres y río de lava en el barranco Ftes. del Volcán.

Con cada imagen se adjunta su procedencia en las aportadas por terceros, por el CIATF o por BALTEN; las «propias» no se acompañan de referencia.

CAPÍTULO II
DATOS GENERALES

II.1. LA ISLA DE TENERIFE. ASPECTOS GENERALES

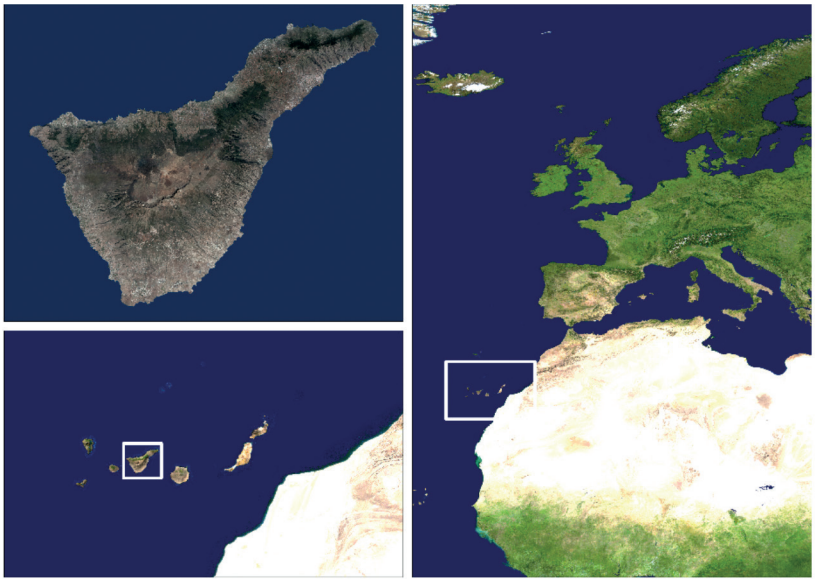


Figura 3. Tenerife en su entorno geográfico Fuente: CIATF

La isla de Tenerife, ubicada en el centro del Archipiélago Canario, es además de la más extensa (2.034 km²), la más poblada (cerca de 900.000 habitantes de hecho) no sólo del Archipiélago sino de todas las islas de España.

II.1.1. El relieve insular

La mayor altura de la isla es el pico del Teide que culmina a los 3.718 metros sobre el nivel del mar.

El relieve insular se ha ido conformando por el apilamiento progresivo de materiales volcánicos los cuales, al final, han formado un edificio geológico que en su estructura actual se asimila a una gran pirámide de base triangular. Sus tres aristas, las denominadas Cordillera Dorsal Este –orientada al NE-, Cordillera Dorsal Oeste –orientada al NW– y Dorsal o arista Sur –con dirección SW– constituyen los tres ejes estructurales por donde se ha canalizado preferentemente el ascenso del magma que, vertido en superficie a uno y otro lado de dichos ejes, ha configurado la señalada estructura piramidal de la isla. En dos de sus caras laterales se descuelgan los extensos y profundos Valles: los denominados Valle de La Orotava y Valle de Icod, ambos en la cara norte, y el Valle de Güímar en la sur.

Se trata de tres grandes depresiones gravitacionales surgidas en épocas geológicas de excesivo crecimiento del relieve, crecimiento que se vio interrumpido cuando la consiguiente inestabilidad dio lugar a grandes deslizamientos en masa del material que conformaban las laderas preexistentes. Este material que, aunque mayormente, derramó sobre el fondo marino también dejó su rastro en tierra: el comúnmente denominado «mortalón», localizado en el interior de muchas galerías de Tenerife. Una cuarta depresión, esta vez en el centro de la isla, distorsiona también esa configuración piramidal; se trata de Las Cañadas del Teide cuyo origen se atribuye igualmente a un episodio de abatimiento e inmediato deslizamiento de grandes volúmenes de material. Tales depresiones quedaron encajadas entre paredes laterales, generalmente muy escarpadas. Algunas de ellas toman también topónimos característicos: La Pared de Tigaiga en el Valle de La Orotava, La Pared de Güímar o del Escobonal en el Valle de Güímar y la Pared de Las Cañadas en el paraje del mismo nombre.

Las citadas Dorsal Este y Dorsal Oeste conforman la arista común a las dos pronunciadas vertientes (norte y sur) de la isla, ambas surcadas por una bien desarrollada red hidrográfica.



Figura 4. Isla de Tenerife (Ortofoto PNOA)

II.1.2. Características geológicas e hidrogeológicas

En términos generales, y a los efectos de la hidrología insular, sólo cabe apuntar que, aunque en superficie afloran diferentes unidades estratigráficas, las series más modernas ocupan la mayor parte del manto de cobertera de la isla. Dado sus caracteres primarios favorables y su bajo grado de compactación, sus materiales componentes son de una alta permeabilidad, mucho más proclives a la infiltración que a la generación de aguas de escorrentía. Por esta razón, las aguas de escorrentía superficial apenas tienen representación en la disponibilidad y oferta hídricas; son las aguas subterráneas las que proporcionan más del 80% del uso; éstas son extraídas de un sistema acuífero, cuyo principal aporte es la recarga de la lluvia, sobre todo de la vertical, aunque la lluvia horizontal también es un recurso para considerar localmente.

II.1.3. Clima

Aunque por su latitud a Canarias le corresponde un clima seco y cálido, la presencia de los vientos alisios, otorga a las vertientes septentrionales de las islas de mayor altura, como es el caso de Tenerife, un clima húmedo y templado. Los alisios son vientos generalmente del Nordeste que, tras un largo recorrido a través del océano, se cargan de humedad, circunstancia ésta que da lugar a las nubes de niebla, principales responsables de la lluvia horizontal.

II.2. EL MODELO HIDROLÓGICO «LLUVIA-INFILTRACIÓN» DE TENERIFE

Cuando la lluvia –convencional + horizontal– toma contacto con el suelo se activan todos o parte de los elementos del Balance Hídrico Insular (BHI), beneficiándose, en la medida que les corresponda, de este recurso atmosférico.

$$\mathbf{PT} = PC + PAN = \mathbf{E} + \mathbf{I} + \mathbf{ETR} + \mathbf{VR} + \mathbf{EA}$$

PC: La Precipitación Convencional, Directa o Vertical
PAN: La Precipitación de Agua de Niebla, Indirecta u Horizontal
PT: La Precipitación total de agua de lluvia (PT = PC + PAN)

que se reparte entre:

E: La Escorrentía Superficial que vierte al mar
I: La Infiltración efectiva o Recarga
ETR: La Evapotranspiración Real
EA: La Escorrentía líquida almacenada
VR: La Variación de las Reservas de agua en el suelo

La entrada principal al multiacuífero insular es la infiltración; la cual, a la postre, resulta ser el elemento más indeterminado del balance; su evaluación se hace a partir de la evaluación directa (PT y EA) o empírica de los demás (ETR, E y VR). Se opera pues con la siguiente ecuación general:

$$\mathbf{I = P\ T - ETR - E - VR - EA}$$

Por tanto, es cuestión de averiguar con la mayor precisión los valores y la distribución territorial de las variables climáticas e hidrológicas que conforman el segundo término de la ecuación precedente para garantizar la fiabilidad de los correspondientes a la recarga. Para conseguir dicha precisión es prioritario disponer de una información de base meteorológica e hidrológica suficiente en cantidad y calidad. Ahora bien, de nada servirá esa información si en el proceso de cálculo no se contemplan determinadas singularidades que diferencian la hidrología insular de la continental e incluso la de esta isla con respecto de las del resto del Archipiélago.

II.3. PECULIARIDADES DE LA HIDROLOGÍA INSULAR

- La Montaña del Teide, actuando como elemento redistribuidor de la lluvia, da lugar, entre otras, a la inversión del gradiente pluviométrico, muy marcada en la vertiente septentrional; inversión inexistente en las otras islas.
- La lluvia horizontal es protagonista principal en los balances hídricos de determinadas localizaciones.
- La formación del clásico manto de nubes, con la llegada a las islas de los vientos alisios da lugar a dos situaciones climáticas bien diferenciadas:
  1. la zona por encima del mar de nubes se caracteriza por su alto número de horas de insolación.
  2. la inferior, cubierta por el mencionado manto de nubes, se ve privada de los rayos del sol durante bastantes días al año.
- Para mayor complejidad la ubicación del mar de nubes no es constante en el tiempo, sino que varía según las estaciones del año.
- La gran diversidad edafológica insular se traduce en un amplio abanico de valores de la reserva hídrica en el suelo.
- Las siete cañadas del Teide son ejemplos de cuencas endorreicas en las que el agua de lluvia se embalsa durante varios días e incluso semanas, complicando así la resolución del balance en el suelo.
- La alta permeabilidad de las formaciones rocosas que afloran en la isla induce una rápida infiltración de las aguas hacia el subsuelo, con lo que su estancia en la superficie es muy corta, lo que limita la generación de aguas de escorrentía y reduce el tiempo de la acción evaporante.
- El escarpado relieve insular da lugar a una rápida evacuación de las escorrentías hacia el mar, acortando la permanencia del agua en el suelo
- En la isla no existen ríos de curso perenne. Sólo en los tramos iniciales de algunos barrancos la corriente de agua se mantiene a lo largo del año.
- En la isla de Tenerife, el acuífero se encuentra a una gran profundidad por lo que no se producen aportes desde aquel a los cauces.
- Realmente ocurre todo lo contrario pues la particular geomorfología de los barrancos da lugar a que sus cauces se conviertan en auténticas vías de pe-

netración de las escorrentías hacia el subsuelo; se trata del fenómeno que hemos denominado *infiltración en cauces*. Para su evaluación es obligada la consideración de la propagación del flujo de las escorrentías.

- La gran distancia que separa la superficie freática de la del terreno da lugar a que la recarga no sea coincidente en el tiempo con la infiltración, midiéndose desfases entre ambas de dos meses en algunas zonas.
- La infraestructura clásica de explotación de los recursos superficiales mediante grandes presas en el cauce de un barranco no es característica en Tenerife. Apenas hay una docena y más de la mitad están inoperantes. Sí existen un gran número de tomaderos y de pequeñas presas que actuando como tales aportan el riego a las fincas de cultivo vecinas a la captación
- El medio de almacenamiento para las aguas superficiales adoptado durante las pasadas décadas ha sido la balsa. Ubicadas fuera de los límites de los barrancos reciben, a través de los correspondientes conductos de derivación, las aguas de escorrentía captadas en los cauces por los tomaderos.
- Con este sistema de explotación es preciso aproximar la geometría de los hidrogramas de las avenidas. Una vez cercenados con la capacidad de derivación, la zona inferior se corresponderá con los volúmenes de escorrentía aprovechados; el resto (zona superior) discurrirá cauce abajo.
- La red de drenaje es muy densa, hasta el punto de que sobre un kilómetro de costa pueden a llegar a verter hasta media docena de barrancos

En el MHSup inicial, para la discretización de la isla se adoptó una retícula con paso de malla de 1.000m×1.000m que se demostró incompatible con la representación de algunas de las singularidades citadas así como con la definición de ciertas variables climáticas e hidrológicas. Todo mejoró con la reducción del tamaño de las celdas a 200m×200m.

II.4. LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA EN LA ISLA

La lluvia en sus tres formas principales: convencional, de nieve e indirecta u horizontal, es la materia prima que alimenta a todas las variables hidrológicas: evapotranspiración, escorrentía, infiltración, reserva de agua en el suelo y agua retenida o derivada del cauce para su almacenamiento; de las cuales, la infiltración efectiva o recarga es la que más acusa las variaciones en la cantidad de lluvia recibida. Lógicamente, el resto de variables meteorológicas también tienen un importante rol en sus respectivas parcelas de participación en el proceso de cálculo:

- Es imprescindible disponer de una buena red de control de la temperatura, por lo que representa en sí misma y además por ser un elemento determinante en la evaluación de la evapotranspiración.
- También lo es disponer de una buena cobertera de control de la humedad relativa y de la velocidad del viento para garantizarse la mejor definición cuantitativa y de reparto territorial de la precipitación horizontal (PAN).

II.4.1. De la base de datos climatológicos

En Tenerife hay más de una red de control meteorológica y, por tanto, más de una base de datos climatológicos. Cada una de estas redes la gestiona una entidad distinta que en su día la creó para cumplir un cometido específico acorde con las funciones que dicha entidad tiene asignadas. Lógicamente, priman los intereses particulares y cada red está diseñada, tanto respecto de su cobertura geográfica como de la estructura de su equipamiento, para que aporte la información que se precisa en la entidad titular. Es lógico pues que haya solapes entre redes y que incluso existan estaciones relativamente próximas entre sí que, registrando datos similares, tienen un uso distinto. Hay redes con aparatos de lectura continua diezminutal, mientras que en otras es doceminutal; la altura de medición de la velocidad del viento varía también según el cometido final para el que se creó la estación etc…

No se tome como crítica el contenido de las líneas precedentes; se trata de comentar el estado de situación o en todo caso, si se quiere, de una advertencia para posibles usuarios. De hecho, en el CIATF se hace uso de los datos procedentes de todas las redes que operan en la isla en virtud de convenios suscritos con las diferentes entidades. Advertidos de las comentadas incidencias se ha creado una base de datos propia que recibe los datos originales para, una vez homogeneizados o acondicionados, según el caso, nutrir las herramientas hidrológicas disponibles en dicho organismo; entre las cuales se encuentra el MHSup.

De cualquier forma, debemos preciarnos de disponer en la isla de una densidad de puntos de control del clima que supera la de muchas otras regiones.

II.4.2. De los datos históricos

En el centro zonal de Tenerife de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)–antiguo Instituto Nacional de Meteorología (INM) se dispone de datos históricos de lluvia y temperatura de cuatro estaciones: SANTA CRUZ, LAGUNA INSTITUTO, IZAÑA e ICOD (en esta, sólo de lluvia). Además de éstas, se tiene conocimiento de que:

- El OBSERVATORIO MUNICIPAL DE STA. CRUZ DE TENERIFE contaba con Barómetro, Termómetro, Psicrómetro, Anemométro, Pluviométro, Evaporímetro y Heliográfo. Estuvo suministrando datos, al menos, entre los años 1906 y 1910.
- En La Orotava, también existían dos observatorios:
  - el de los Hermanos de las Escuelas Cristianas, a unos 300 metros de altitud, inició su serie de registros en 1917.
  - el del Jardín de Aclimatación, a 100 metros, lo hizo en 1923.
- En el Observatorio de Las Cañadas, localizado en la Cañada de La Grieta a 2100 metros de cota, se registraron medidas de precipitación y temperatura desde 1909 hasta 1916 fecha de creación del Observatorio Central Meteorológico de Izaña.

II.4.3. La red inicial

En el año 1944 el INM inició la construcción de la Red de Observación Meteorológica Insular; se instalan por toda la isla 60 estaciones. Hasta esa fecha sólo se disponía de la información obtenida de las referidas estaciones históricas de SANTA CRUZ, LAGUNA-INSTITUTO, IZAÑA e ICOD cuyas series de registro se remontan a los años 1865, 1868, 1916 y 1926 respectivamente; las cuatro se incorporaron a la Red junto con la del Aeropuerto de Los Rodeos, recién instalada.

- En las 65 estaciones que componían la Red se medía la Lluvia
- Una docena de estaciones disponían de control de Temperatura.
- Con tres de ellas se cubría la información relativa a la Humedad Relativa, el Viento y la Insolación.

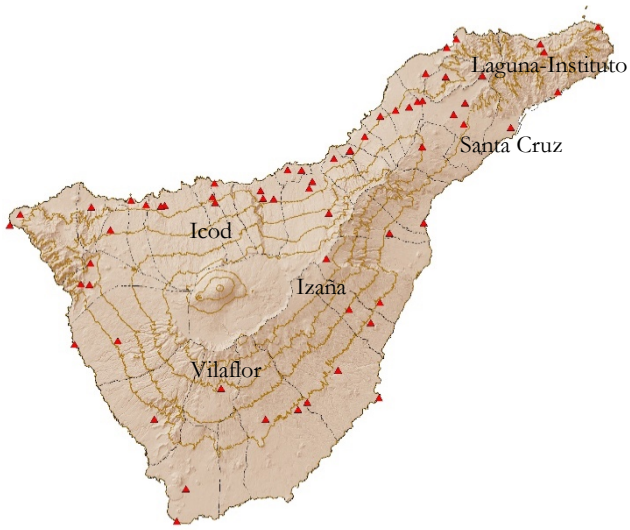


Figura 5. Red oficial de Observación Meteorológica inicial

II.4.4. La red del Proyecto Canarias SPA-15

A finales de los años sesenta, con el Proyecto Canarias SPA-15 se recuperaron algunas de las estaciones pluviométricas perdidas y además se cubrieron las zonas de alto-medianías de la isla con pluviógrafos y aparatos totalizadores de lluvia en zonas de montes. Los primeros sólo se mantuvieron activos durante 10 años; algunos de los segundos los asumió ICONA cuando a mediados de los años ochenta instaló su propia red de montes.

II.4.5. La red del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias

A finales de los años sesenta el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) puso en funcionamiento dos estaciones totales. En años sucesivos se incre-

mentaron el número de puntos de observación meteorológica hasta conformar su red particular compuesta por quince estaciones; red que en la actualidad gestiona el Instituto Canario de Investigación Agraria (ICIA).

II.4.6. La red del Área de Medio Ambiente del Cabildo

El Área de Medio Ambiente (AMAC) del Cabildo dispuso de 14 estaciones totales repartidas entre el Parque Rural de Teno y las torres de vigilancia de incendio. Las primeras se instalaron a inicio de los años ochenta y las segundas una década después. En la actualidad sólo están operativas 4 estaciones en el Parque Rural de Teno y 3 de las instaladas en las torres de vigilancia cuyo control y toma de datos lo ha asumido recientemente AGROCABILDO.

II.4.7. La red de montes del ICONA

A mediados de los años ochenta el ICONA implantó en la zona de montes su propia red de observación pluviométrica con más de 100 aparatos totalizadores de lectura mensual, bimensual e incluso semestral, dando así cobertura a toda la isla.

II.4.8. La red de AGROCABILDO

A finales de los años noventa el Área de Agricultura y Aguas del Cabildo puso en marcha su proyecto de red de control meteorológico con la implantación de 40 estaciones totales. Actualmente ya son 57 las estaciones que se mantienen activas.

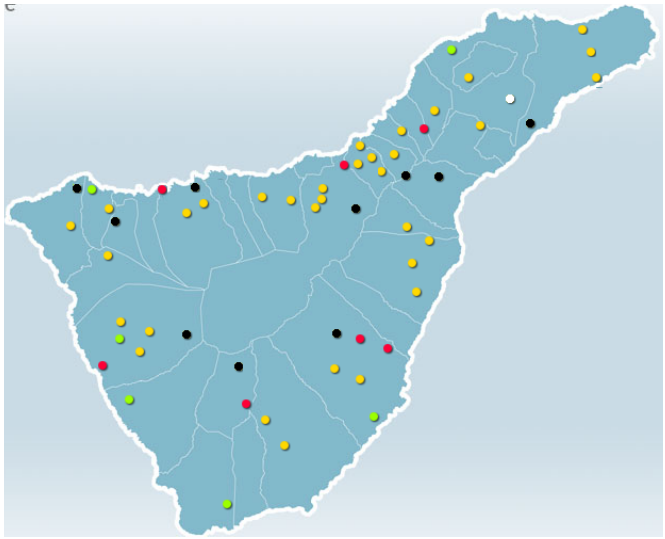


Figura 6. Red de control meteorológico de AGROCABILDO

En la red se distinguen hasta cinco tipos de estaciones; no obstante, en todas ellas se registran datos de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación.

II.4.9. La red del Patronato del Parque Nacional del Teide

Entre los años 1995 y 2012 el Patronato del Parque Nacional del Teide (PPNT) fue la entidad gestora de los registros aportados por las 13 estaciones pluviométricas totalizadoras que en su día instaló ICONA en el interior del Parque.

Por otro lado, en el verano de 2010 -con la puesta en funcionamiento de dos estaciones totales- se inició la implementación dentro del Parque de una nueva red de control climatológico que ha tenido su culminación, de momento, con la instalación de otras tres nuevas estaciones.

II.4.10. Evolución histórica

	DÉCADA							
VARIABLE	**1945**	**1950**	**1960**	**1970**	**1980**	**1990**	**2000**	**2010-**
Precipitación	40	45	55	70	245	250	305	314
Temperatura	11	14	19	40	70	115	130	139
Humedad	6	6	10	12	45	85	105	112
V. Viento	4	4	9	9	10	50	60	68
Insolación	6	6	9	9	24	55	60	68

Tabla 1. Número de estaciones con más de 10 años de registros utilizables

II.4.11. La red actual de observación meteorológica

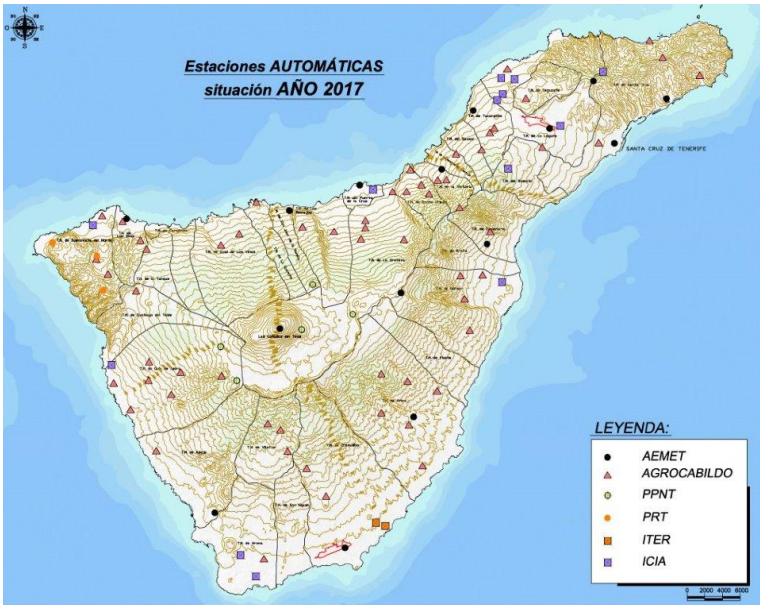


Figura 7. Red actual de control meteorológico

En general, las estaciones de cualquiera de las variables climáticas representadas en el mapa precedente son suficientes en número y distribución para definir los sucesos meteorológicos que asociados a tales variables puedan devenir en gran parte de la isla. Sólo el extremo más oriental y en concreto la vertiente sur del macizo de Anaga y la zona de montes del Valle de Icod no cuentan con los puntos de registro necesarios para garantizar una buena definición local de cualquiera de ellas; no obstante, se tiene previsto rellenarlas con nuevas estaciones, de inmediato.

II.5. LA RED DE DRENAJE NATURAL

II.5.1. Las cuencas hidrográficas

CUENCA HIDROGRÁFICA: Superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente lagos hacia el mar por una única desembocadura, estuario o delta.

Atendiendo a la entidad de los barrancos que las surcan pueden establecerse varios niveles diferentes de cuencas:

De barrancos de cumbre: Todo el terreno dentro de sus límites vierte aguas sobre barrancos cuyo curso se extiende desde las cumbres más altas hasta la costa. Estas cuencas reciben las mayores precipitaciones que, unido a sus considerables superficies, deberían significarles el ser las mayores generadoras de volúmenes de escorrentía si no fuera porque la permeabilidad de los suelos de cobertura es aún más decisiva que la propia pluviometría o la superficie receptora.

De barrancos de medianías altas: En este caso se trata de barrancos cuyas cabeceras de cuenca se asientan muy cerca del casquete de cumbres, llegando, por tanto, a participar también de las precipitaciones más copiosas e intensas. Sus aportaciones, de menor consideración que las de la red superior, están en consonancia con la superficie de recepción de lluvia y la geomorfología de los suelos.

De barrancos de medianías bajas: Son cuencas localizadas en la vertiente meridional de la isla, susceptibles de generar aportes aprovechables de escorrentía; y ello aún a pesar de tener sus cabeceras muy lejos de los núcleos donde se producen las máximas precipitaciones, pues su principal característica hidrológica reside en la baja permeabilidad de sus suelos de cobertura.

De barrancos costeros: Son vertientes a pequeños barrancos y barranqueras cuyo nacimiento se localiza a poca distancia de la costa. Por esta razón, además de disponer de superficies de cuencas vertientes muy pequeñas, reciben las menores precipitaciones.

No desarrolladas: En la vertiente suroccidental de la isla los materiales que conforman su cobertera todavía no han tenido tiempo de conformar una red de drenaje definida. En estas zonas la generación de aguas de escorrentía sólo es posible a partir del suceso de temporales más que extraordinarios.

Endorréicas: Se trata de extensiones donde el agua de escorrentía superficial no tiene salida por gravedad. Es el caso de cada una de «7 Cañadas» localizadas bajo la pared meridional del recinto de Las Cañadas del Teide.

Con la malla con la que se opera en el MHsup (200m x 200m) se discretizan más de 1.000 cuencas hidrográficas que vierten al mar y 11 cuencas endorréicas. Son de superficie reducida; sólo seis la alcanzan o superan los 40 km^2:

1. La del barranco de **San Juan** en Guía de Isora más la del barranco de Guía que se le une apenas 200 metros antes de su desembocadura, derivan un total de **58** km^2 de superficie conjunta.
2. La del barranco de **Tamadaya** en Arico: unos **57** km^2.
3. La que tributa al barranco de **Las Galletas** en Arona: **51** km^2.
4. La del barranco de **El Charcón** en Granadilla: **41** km^2.
5. La del barranco de **Orchilla** entre Granadilla y San Miguel: **40** km^2.
6. La del barranco de **Santos** en Santa Cruz roza también esos **40** km^2.

En cuanto a las cuencas endorréicas la mayor es la cañada del **Llano de Ucanca** con **25** km^2 cuya cabecera es el Pico del Teide



Figura 8. Cuencas hidrográficas

II.5.2. Los cauces de barranco

Las aguas de escorrentía generadas en las cuencas insulares disponen de una red de drenaje natural que, salvo en las zonas cuyos suelos de cobertera se corresponden con los más jóvenes de la isla, puede adjetivarse de densa, bien desarrollada y estructurada.

La columna vertebral de la red insular de drenaje natural la conforman los cauces principales. Sobre ellos descargan los cauces correspondientes a otros tantos ramales, subramales…, cuya estructura jerárquica alcanza hasta 10 niveles. En el último Inventario llevado a cabo desde el CIATF se han censado 498 cauces principales, con una longitud acumulada de 1831 km, a los que se unen casi 5.000 cauces afluentes, sumando entre todos una longitud total conjunta de 5.881 km.

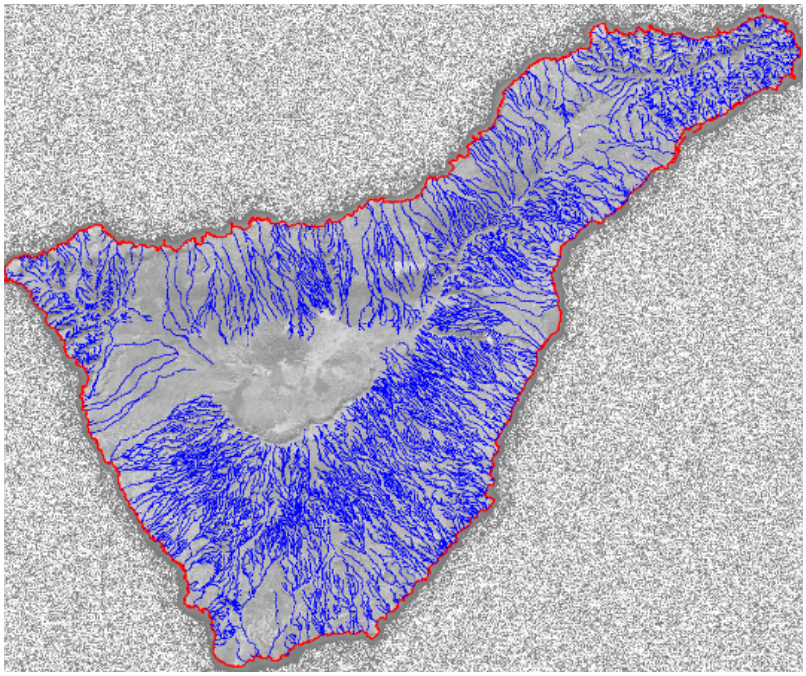


Figura 9. Red de drenaje natural

El cauce de mayor longitud (25,26 km) es el de **El Charcón**, en Granadilla. En el mismo municipio el barranco de **Orchilla** alcanza una longitud ligeramente inferior (24,39 km). Con una longitud similar (24,27 km) el barranco de **El Río** separa Granadilla de Arico. Otros barrancos superan también los 20 kilómetros de longitud: **Las Galletas** (23,79 km) en Arona; **Las Vegas** (22,31 km) en Granadilla; **Los Abejones** (22,18 km) en Arico; **El Rey** (21,51) nace en las cumbres de Vilaflor y en el tramo final divide los términos de Adeje y Arona; el de **Polegre** (20,11 km) discurre por entero dentro de Arico.

B L O Q U E 2º

LOS RECURSOS ATMOSFÉRICOS Y LOS RECURSOS SUPERFICIALES EN EL BALANCE HÍDRICO INSULAR

CAPÍTULO III
LA LLUVIA DIRECTA, CONVENCIONAL O VERTICAL

III.1. LA LLUVIA COMO RECURSO ATMOSFÉRICO

La orografía y la diversidad climática de la isla da lugar en ocasiones a la aparición de formas diversas de precipitación de agua como el rocío, la escarcha e incluso el granizo; aunque el más habitual de todos es la **lluvia convencional**. En menor medida, la **nieve** y la denominada **lluvia horizontal** son también recursos hídricos, en su fase atmosférica, con los que cuenta la isla. Estas precipitaciones configuran el inicio de un ciclo y constituyen en sí mismas la base de todos los recursos hídricos posteriores, tanto superficiales como subterráneos.

Las superficies abiertas, libres de arbolado, reciben de forma directa y en su totalidad cualquiera de los tipos de precipitación citados. En las zonas boscosas la lluvia encuentra en su descenso los obstáculos de las copas de los árboles que impiden su acceso directo al suelo; cabe hacer las siguientes distinciones:



Figura 10. Escurrido cortical y lluvia penetrante

1. La lluvia **penetrante** en la que a su vez cabe distinguir:
   a) La lluvia **directa** que llega al suelo sin encontrar obstáculos al atravesar la cubierta vegetal.
   b) La lluvia de **intercepción no evaporada** que habiendo sido retenida por la cubierta vegetal escurre desde las hojas y vierte sobre el suelo.
   c) El **escurrido cortical** que desciende a través de las superficies de las ramas y el tronco.
2. La lluvia de **intercepción evaporada** que, habiendo sido retenida por la cubierta vegetal, es devuelta a la atmósfera.

El porcentaje de lluvia interceptado por la vegetación que vuelve a la atmósfera depende del tipo y de la densidad de la vegetación; pudiendo alcanzar valores

locales de hasta el 35% de la precipitación total. Este porcentaje puede ser aún mayor si trata de lluvia horizontal o de nieve. En bosques muy frondosos el «escurrido cortical» puede llegar a ser el 7% de la precipitación total.

La lluvia, ya sea en campo abierto o bajo arbolado, más el escurrido cortical constituyen un recurso, en este caso **atmosférico**, de aprovechamiento directo cuando aquella –la de campo abierto– vierte sobre balsas, presas o receptáculos abiertos de almacenamiento. Si el receptor es el suelo, una parte del agua la aprovechan las plantas (cultivos y vegetación natural) y el resto se convierte en escorrentía superficial o subterránea susceptible también de ser aprovechada, pero de forma indirecta.

La precipitación que miden los pluviómetros –instalados normalmente en zonas abiertas y alejados de cualquier tipo de obstáculo– coincide con la lluvia directa convencional, a la que hay que añadir el aporte de la nieve. Es, por tanto, de este tipo de lluvia del que puede ofrecerse información objetiva, ya sea de tipo cualitativo, cuantitativo y de reparto territorial. Entre los atributos que deben avalar la representatividad de la información climatológica en general y pluviométrica en particular, son fundamentales:

a) La **calidad** de los registros
b) La **extensión** de las series de registros disponible
c) La **cobertura** territorial que ofrece la red
d) La **densidad** de la red

III.2. DE LA CALIDAD DE LOS REGISTROS DE LLUVIA

III.2.1. De las estaciones de lectura diaria

La mayoría de las estaciones pluviométricas instaladas por el antiguo INM (actual AEMET) se equiparon con pluviómetros Hellman de lectura diaria; tarea ésta que se encomendó a colaboradores particulares, los cuales remitían mensualmente la información registrada al Centro Meteorológico Zonal de Tenerife (CMZT) donde era y sigue siendo objeto de revisión.

Sólo cabe una objeción al respecto. La inexistencia de **nivómetros** en varias zonas de cumbre no permite distinguir entre la precipitación convencional y la nieve. A los pluviómetros han tenido acceso tanto la lluvia líquida como la sólida, por lo que los registros de ambas se miden en conjunto, haciéndose la competencia. No es pues infrecuente que, con ocasión de nevadas intensas, se produzca la colmatación de los aparatos e incluso la congelación de su contenido cerrando el acceso a posteriores precipitaciones[1]. Por otro lado, la elevada velocidad del viento que acompaña a los temporales en estas zonas altas impide el correcto acceso de la lluvia a los cuencos receptores de los pluviómetros convencionales. Por éstas y

[1] En la estación meteorológica de Izaña se opera de forma que se minimice este tipo de incidencia. Las medidas que se ofrecen de precipitación son pues representativas de su entorno.

otras circunstancias se ha llegado a la conclusión de que, bajo determinadas circunstancias meteorológicas, los registros históricos de precipitación procedentes de los pluviómetros ubicados por encima de la cota aproximada de 1.700 metros o en las zonas de cresta de cumbre, están infravalorados.

III.2.2. De las estaciones automáticas

La AEMET dispone también de una red de estaciones automáticas completas que ha venido densificando en estos últimos años. Además, diversas entidades cuentan también con su propia red de control.

En este caso los errores, que no suele haberlos, se deben a desajustes en el aparato de medición; errores fácilmente detectables y subsanables pues suelen disponer, en paralelo, de aparatos de lectura diaria (Hellman) con los que contrastar la medición.

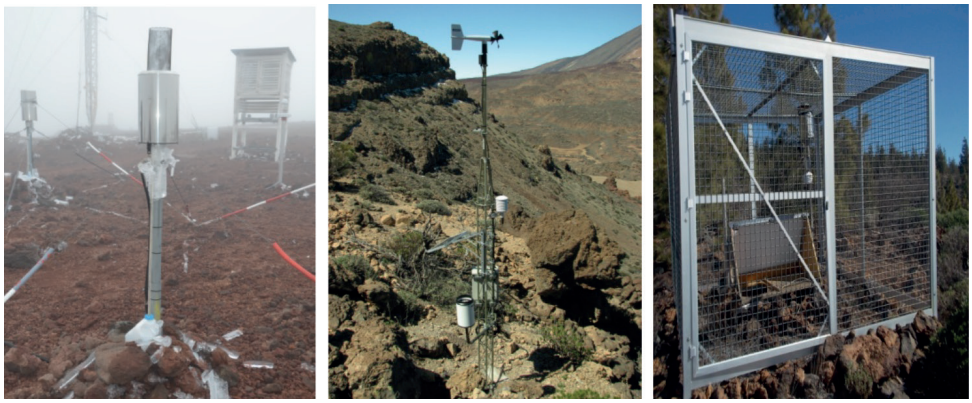


Figura 11. Tres estaciones meteorológicas automáticas
1: Centro de Investigaciones Atmosféricas de Izaña; 2 y 3: Parque Nacional del Teide.

III.2.3. De las estaciones totalizadoras

Cuestión distinta son las estaciones totalizadoras. Todas ellas se localizan en la zona de medianías a cumbre, generalmente en medio del «monte»; siendo ésta la razón por la que tienen la condición de totalizadoras, acumulando lluvias mensuales e incluso algunas de ellas, en sus inicios, trimestrales y semestrales.

La fiabilidad de los registros en estas estaciones está mediatizada por la influencia de elementos incontrolables, tales como la evaporación, la averías en el aparato y en alguna ocasión el vandalismo. En algún caso aislado, la anomalía congénita del propio aparato obligaba a rectificar, sistemáticamente, el valor registrado. Un inconveniente añadido se deriva de la recogida de los datos pues, por lo general, no suele coincidir con el último día del mes o el primero del siguiente; lo habitual es que haya un desfase de días e incluso de semanas, bien por cuestiones de logística, o bien por coincidencia de esos días con fin de semana o con período

vacacional. Incidencias éstas que hubo que afrontar en el momento en el que en el CIATF decidió acometer la modelización matemática de la hidrología insular, ya que era imprescindible contar con los registros mensuales de estas estaciones, pues se localizan precisamente en la zona de la isla donde se miden las mayores precipitaciones.



Figura 12. Pluviómetro totalizador tipo ICONA
Desde la cazoleta parte un conducto que transporta el agua de lluvia hasta el recipiente almacenador.

La puesta a punto de la información disponible –hasta ocho años de registros– en esas fechas requirió varios meses en operaciones tales como:

- La **desagregación** de los registros que acumulaban más de un mes.
- El **ajuste** de la medida original en los aparatos no estándar.
- El **ajuste** de los registros obtenidos fuera de plazo.
- La **eliminación** de los registros incongruentes y dudosos.
- El **relleno** de lagunas.

La red de montes ha ido perdiendo efectivos hasta reducirse el número de aparatos a la mitad. La noticia positiva es que, desde hace años, los que están operativos se controlan mensualmente.

III.2.4. Tratamiento y aprovechamiento de los datos pluviométricos

Varias estaciones no automáticas –de lectura diaria o mensual– no tuvieron la

continuidad deseada, quedando sus series de registros interrumpidas, total o parcialmente. No obstante, se estimó que toda la información acumulada hasta el momento de su extinción –alguna de ellas llegó a disponer de series con 50 años de datos registrados– era susceptible de aprovechamiento. Por todo ello, en mayo de 1998 el Ministerio de Medio Ambiente y el Consejo Insular de Aguas suscribieron un convenio de colaboración para el intercambio de datos, informes, estudios y trabajos relacionados con la hidrometeorología.

Una vez se dispuso de toda la información climatológica existente, se trató de hacer utilizable la mayor parte de ella. A las operaciones de mejora comentadas en el apartado precedente hay que añadir:

- El **rescate** de información perdida.
- La **corrección** de errores de ajuste, de transcripción, etc.
- La **corrección** de errores sistemáticos mediante contraste.
- La **prolongación** de las series de registros hacia delante o hacia atrás.

Todo ello ha permitido, con la ayuda del Gestor de Datos Básicos (GDB) del MHSup, la creación de series pluviométricas relativas a:

- ✓ Datos originales de precipitación diaria.
- ✓ Número de días de lluvia al mes.
- ✓ Máximos diarios de la serie original.
- ✓ Datos mensuales originales obtenidos a partir de los datos diarios.
- ✓ Datos mensuales originales.
- ✓ Datos tratados manualmente.
- ✓ Datos deducidos por correlación.
- ✓ Datos conjuntos.

III.3. DE LA EXTENSIÓN DE LAS SERIES DE REGISTROS

III.3.1. Introducción

Aunque el marco temporal de narración que se contempla en este documento se limita a los 100 últimos años, no está de más incluir, en este bloque, algunos apuntes acerca de la climatología **histórica** insular. Nos valdremos de las series de precipitación de las tres estaciones de más larga existencia, acotando el análisis entre el inicio del siglo pasado y el momento actual.

Además, nos vamos a servir de esta información para averiguar cuál puede ser la extensión óptima que deben tener las series pluviométricas, al menos en esta isla, para estimarlas como representativas. Oficialmente, se considera que una serie de **treinta** años de extensión garantiza la representatividad de sus valores medios.

III.3.2. Las estaciones históricas

En las dependencias del Centro Zonal de Santa Cruz de Tenerife de la AEMET

se dispone de datos anteriores a 1945 relativos a la pluviometría y termometría insular procedentes de las cuatro estaciones de más larga existencia: SANTA CRUZ, LAGUNA-INSTITUTO, IZAÑA e ICOD.

La serie de registros diarios de precipitación de la primera, localizada en el núcleo urbano de Santa Cruz a la cota 36 m.s.n.m., se inicia en 1865; los datos de temperatura inician su contabilidad en 1920. Tres años más tarde se implanta LAGUNA-INSTITUTO para el registro de lluvia y temperatura; sus series son irregulares, ya que incluyen importantes «lagunas», sobre todo en los años iniciales. La denominada IZAÑA, ubicada a la cota 2.364 m.s.n.m., comenzó su andadura en el año 1916 y salvo carencias muy puntuales dispone de unas excelentes series diarias de precipitación y temperatura. La de ICOD se implantó en 1926 para medir la precipitación local.

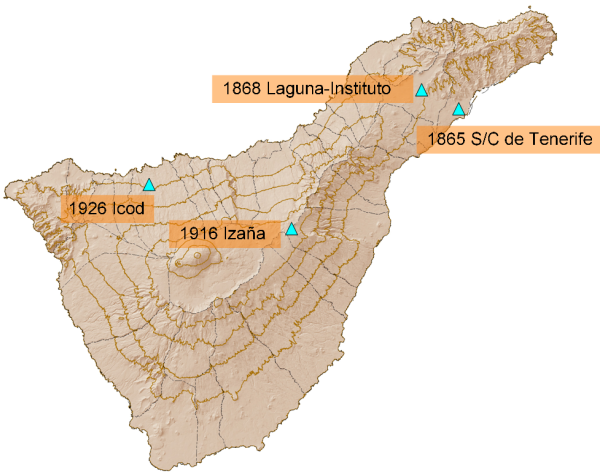


Figura 13. Año de implantación de las cuatro estaciones históricas de observación meteorológica

Cada una de las tres más antiguas: SANTA CRUZ, LA LAGUNA e IZAÑA cubre una de las tres zonas diferenciales de la climatología insular: costa, medianías y cumbre respectivamente; y además, en planta, la extensa línea que une a las dos últimas no se separa apenas de la divisoria de las dos vertientes de la isla. Con esta disposición, tanto en planta como en alzado, entre las tres conforman un buen indicador respecto de la precipitación y la temperatura de los últimos 115 años.

Aunque es a partir de 1944/45 cuando existe información meteorológica suficiente para evaluar con garantía los valores medios de estas dos variables climáticas, el análisis conjunto de la información aportada por cada una de estas tres estaciones nos da ocasión para adelantar algunas de las conclusiones que nos ha deparado la simulación matemática de la hidrología insular en el MHSup, desde el año hidrológico 1944/45 hasta el 2014/2015.

III.3.3. Análisis estadístico de la Precipitación media insular.

Una vez rellenas las «lagunas» de registros se ha construido esta tabla con las medias pluviométricas de las once últimas décadas más la del pasado quinquenio.

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL SEGÚN DÉCADAS													
mm	**1900-**	**1910-**	**1920-**	**1930-**	**1940-**	**1950-**	**1960-**	**1970-**	**1980-**	**1990-**	**2000-**	**2010-**	**MEDIA**
Izaña	*460*	455	553	331	355	730	474	548	493	306	401	326	458
La Laguna	510	499	636	553	588	605	574	577	543	505	474	516	550
Sta Cruz	257	206	311	218	207	329	243	224	231	200	241	235	242
MEDIA	**409**	**387**	**500**	**367**	**383**	**555**	**430**	**450**	**422**	**337**	**372**	**359**	**417**

Tabla 2. Precipitación media anual en cada una de las últimas doce décadas
El valor en la estación de Izaña en la década 1900-1910 es estimado en base a los datos de otra estación vecina

Resulta que el valor de la media pluviométrica (417 mm) que se deduce del análisis conjunto de las tres estaciones durante el período histórico con el que opera el MHSup (1944/45-2014/15) es muy similar al que se obtiene en el MHsup (423 mm) con todas las estaciones de la red insular de control pluviométrico; coincidente a su vez con la media de los 115 años históricos.

- ✓ La década de los **años cincuenta** del pasado siglo fue **extraordinariamente lluviosa**. Así lo constatan también los registros de la generalidad de las estaciones que conformaban en esas fechas la red de control pluviométrico.
- ✓ Igual de húmeda debió ser la década de los **años veinte**. Concretamente, la estación de La Laguna registró la media más alta de las doce consideradas. Es significativo que, durante los años finales de esa década y los iniciales de la siguiente, se duplicaran las solicitudes de autorización a la Administración Hidráulica para aprovechar las aguas de escorrentía en varios barrancos de Tenerife y en los de las otras islas de la provincia, como así consta en el CIATF[2].
- ✓ En el otro extremo, la década de los **años noventa** y la de inicios de este siglo, junto con las de **los treinta y los cuarenta** han sido las más **secas**.

Paradójicamente, aquellas iniciativas para aprovechar las aguas superficiales, nacidas al socaire de las lluvias torrenciales de los años veinte, no se vieron compensadas sino hasta tres décadas después.

[2] Libro de Registro General de Aprovechamientos Hidráulicos. DGOH del MOP. (CIATF)

III.3.4. De la representatividad de las series de registros de lluvia.

Con las series de las tres estaciones pueden habilitarse hasta tres períodos de registros que, en principio y según se tiene establecido, pueden calificarse de representativos por sus 30 años de extensión; incluso puede desglosarse la información pluviométrica disponible hasta en dos períodos de 57 años.

mm	1925-1955	1955-1985	1985-2015	MEDIA
Izaña	460	516	382	**453**
La Laguna	589	538	528	**552**
Sta Cruz	231	240	235	**235**
MEDIA	**438**	**431**	**382**	**413**

Tabla 3. Precipitación media anual intraperíodos de 30 años

A tenor de las cifras que se presentan en ambas tablas se infiere que:

- ✓ La irregularidad de las precipitaciones supera los ciclos de treinta años en las dos estaciones con mayores registros (Izaña y La Laguna-Instituto).
- ✓ Las medias conjuntas se resienten a la baja.

mm	1901-1958	1958-2015	MEDIA
Izaña	481	442	**462**
La Laguna	566	537	**552**
Sta Cruz	263	231	**244**
MEDIA	**456**	**403**	**430**

Tabla 4. Precipitación media anual intraperíodos de 57 años

- ✓ Con series de 57 años también se pone de manifiesto la tendencia descendente de la pluviometría insular.

Cuestiones éstas que se han venido confirmando con las últimas actualizaciones del Balance Hidrológico Insular (BHI) llevadas a cabo a través del MHSup.

III.3.5. Conclusiones.

Cualquier período superior a 30 años va a carecer de registros suficientes en la zona de cumbre, donde la red de control se consolidó a partir de mediados de la década de los ochenta. Por otro lado, hasta hace una treintena de años no se ha

dispuesto de información suficiente del resto de las variables climáticas: temperatura, humedad, ... Por tanto, para disponer de una ortodoxa definición cuantitativa y de reparto de la pluviometría o para hacer evaluaciones de variables hidrológicas: escorrentía, infiltración, … siempre será más representativo el período de los últimos treinta años (1985/86-2014/15) que cualquier otro.

No obstante, herramientas comúnmente usadas en hidrología permiten hacer rellenos y prolongaciones de series de registros a partir de las cuales pueden construirse modelos climáticos extensos con los que llevar a cabo análisis estadísticos tanto de las variables climatológicas como de las hidrológicas

III.4. LA NIEVE

Una segunda modalidad de recurso atmosférico es la precipitación en forma de nieve que, aunque limitada su estancia, tanto en el tiempo: un par de semanas/año, como en el espacio: por encima de la cota de 1700 metros, en ocasiones es un importante aporte complementario a la recarga del multiacuífero insular y, en concreto, al subacuífero que yace quinientos metros por debajo del piso de Las Cañadas del Teide.

La ausencia de aparatos específicos (nivómetros) para la medición de este tipo de precipitación –se lleva a cabo en conjunto con la lluvia convencional– no permite ofrecer referencias cuantitativas; solamente existen estadísticas acerca de su tiempo de estancia en la superficie del terreno.

NOTA: Parte del texto y alguna figura de los apartados siguientes se ha extraído de un documento[3] redactado por quien suscribe cuyo contenido se centraba en el análisis de la precipitación y de la evapotranspiración en las cuatro islas occidentales. No deben extrañar pues las referencias a las otras islas de la provincia.

III.5. COBERTURA Y DENSIDAD DE LA RED PLUVIOMÉTRICA

III.5.1. De la cobertura de las redes pluviométricas. Aspectos generales

Formando parte de los trabajos de base del Proyecto Canarias SPA-15 se construyó para cada isla del Archipiélago su respectivo mapa de isoyetas. En las islas de mayor altitud, La Palma y Tenerife, hubo que asumir la carencia absoluta de estaciones de registro ubicadas en cotas altas. La intuición tuvo, pues, mucho que ver con el dibujo de las isoyetas en la zona de coronación de ambas islas.

[3] USO Y MANEJO DEL BANCO HISTÓRICO DE DATOS CLIMATOLÓGICOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ELEMENTOS PRIMARIOS (PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN) DEL BALANCE HÍDRICO EN LAS ISLAS OCCIDENTALES -1996- No publicado – Disponible en las dependencias del CIATF

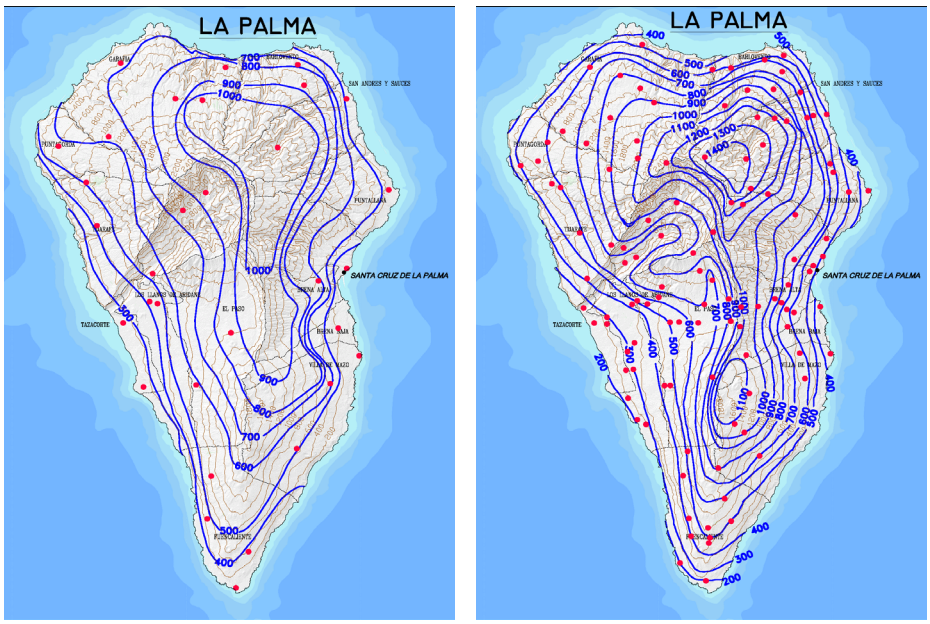


Figura 14. Mapas de isoyetas de la isal de La Palma del Proyecto SPA-15 y del PHLP

Esta simplificación supuso, p.ej., que en la isla de La Palma el valor de la isoyeta representativa de la precipitación máxima anual media fuera de 1000 mm, tal como lo refleja el primer mapa de la figura nº 14 Más tarde, a mediados de la década de los años ochenta del siglo pasado, ICONA implantó en las islas occidentales la denominada «red de montes»; que a su vez complementó el antiguo INM densificando su propia red. En la isla de La Palma, esa red conjunta casi llegó a triplicar en número de estaciones la que usó el Proyecto SPA-15; el efecto más significativo se evidenció en los casquetes de cumbre donde la isomáxima anual alcanzó, al menos, **1400** mm en el superior y **1100** mm en el inferior, en contraste con los 1000 mm y 900 mm del Proyecto SPA-15.

El mismo análisis comparativo se hizo en las otras tres islas occidentales y también hubo diferencias; con efectos no tan llamativos como en La Palma, pero decisivos para definir la pluviometría local.

III.5.2. De la densidad de las redes pluviométricas. Aspectos generales

La acumulación de puntos de control en determinadas zonas ha permitido dibujar con cierta precisión las isoyetas, comprobándose la correspondencia existente entre la precipitación, la topografía e incluso la orientación de las vertientes. El contraste entre el mapa de isoyetas de la isla de La Gomera del Proyecto SPA-15 (Figura 15, izquierda), construido a partir de **media docena** de estaciones, con el mapa del Avance del PHLG (Figura 15, derecha) que contó con la información aportada por más de 50 de estaciones reales, nos sirve de ejemplo.

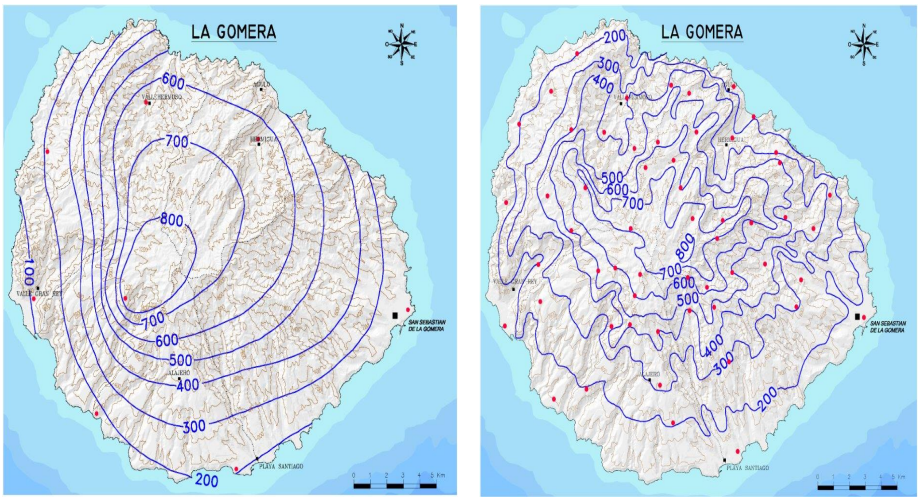


Figura 15. Mapas de isoyetas de la isla de La Gomera del Proyecto SPA-15 y del PHLG

En el segundo mapa la acusada sinuosidad de cada una de las curvas isoyetas, cuyo conjunto llega a ser casi un manto envolvente del relieve insular, pone de manifiesto la interdependencia existente entre la topografía y la precipitación. Por planimetría de ambos mapas de isoyetas se dedujo una lluvia media anual de **488** mm en el mapa del Proyecto SPA-15 y de **373** mm en el del Avance del PHLG.

Los 115 mm de diferencia se deben a que:

1. Las medias de las series pluviométricas a partir de las cuales se construyó el mapa del PHLG son más bajas que las que se deducen en el mapa del SPA-15, pues en ambos casos las series contienen en su primer decenio el período histórico más lluvioso; pero las primeras, al ser más extensas, contienen años con registros de lluvia más bajos que contribuyen a rebajar las medias.
2. La geometría de las curvas isoyetas del PHLG se construyeron con una mayor densidad de puntos de apoyo, conformando una geometría a partir de la cual cada isoyeta reduce, con respecto a sus homónimas del SPA-15, su superficie de influencia en beneficio de sus inmediata inferior.

Por otro lado, en el mapa del SPA-15 las mayores precipitaciones se localizan en el cuadrante suroccidental; con las nuevas estaciones aparecen en el nororiental.

Es indispensable pues, disponer de una aceptable densidad de estaciones desde medianías a cumbre, donde comúnmente descargan las mayores precipitaciones.

III.5.3. De la cobertura y densidad de la red pluviométrica de Tenerife

En el Proyecto SPA-15 para la construcción del mapa de isoyetas de **Tenerife** hubo que afrontar una muy baja densidad de estaciones.

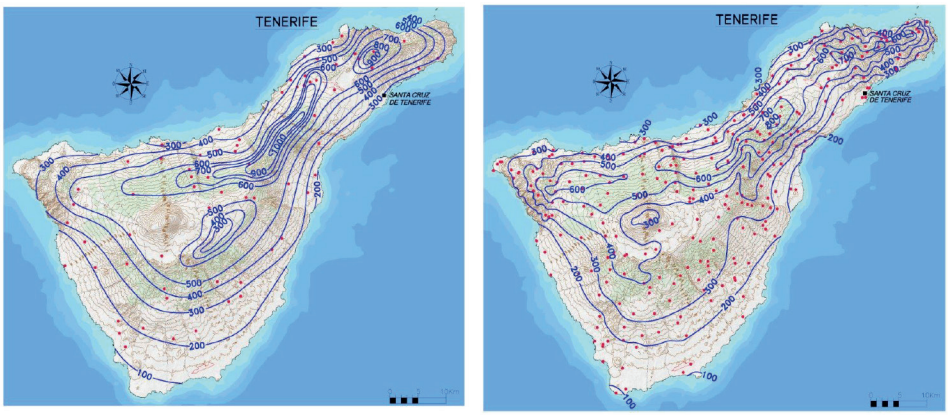


Figura 16. Mapas de isoyetas de la isla de Tenerife: SPA-15 y PHT.

En el mapa resultante no se reflejaron determinados aspectos locales de la lluvia –que serán comentados en apartados siguientes– que sí se muestran en otros posteriores, construidos con una cobertura de control pluviométrico casi total.

III.6. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LA RED PLUVIOMÉTRICA

III.6.1. La Red inicial

Entre 1944 y 1950 el INM implantó en la isla 60 estaciones de registro de lluvia diaria, que se unieron a las 4 históricas y a la del Aereopuerto de Los Rodeos:

- En **1950** la pluviometría se registraba en **55** estaciones.

Las nuevas estaciones se distribuyeron aceptablemente en planta pero no así en alzado ya que el INM, promotor de la red, se vio obligado a buscar emplazamientos en lugares habitados, que garantizaran la lectura de registros diarios. Se trataba, por tanto, de una red de observación de medianías. La zona de cumbres –la Corona Forestal– quedaba desprovista de registros, pues por encima de la cota 1.000 m.s.n.m. sólo se contaba con un par de estaciones: Izaña, localizada en la divisoria de ambas vertientes a la cota 2.364 m.s.n.m, y Vilaflor en el sur a la cota 1.378 m.s.n.m. Además, siguieron dándose de baja estaciones.

- Hacia **1960** la red pluviométrica se componía de **35** estaciones.

Por diversas razones, no todas las estaciones implementadas por el INM (actual AEMET) tuvieron continuidad reduciéndose la red de control pluviométrico a las señaladas 35 estaciones en 1960. De las restantes se conservan sus series de registros.

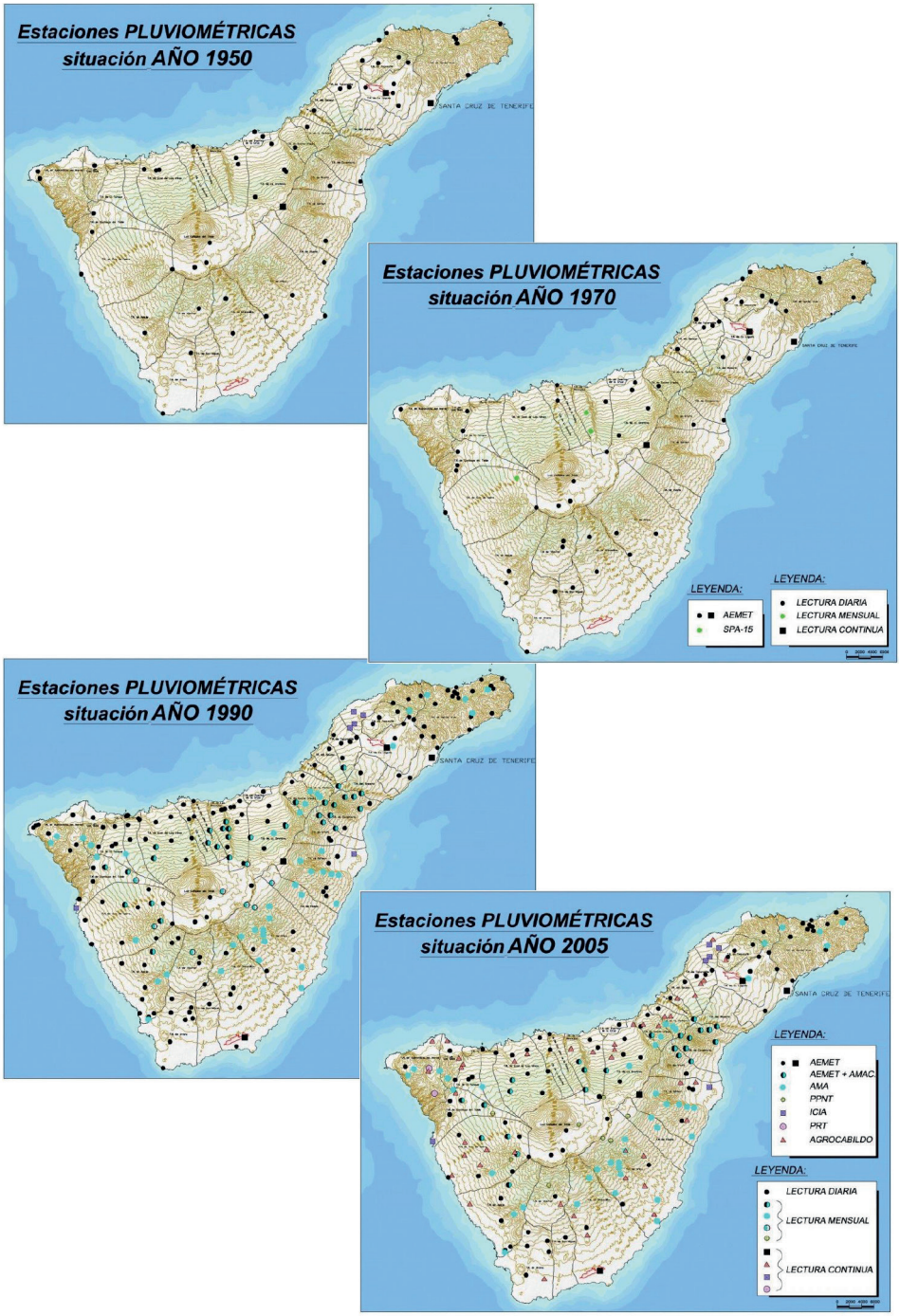


Figura 17. Evolución en el tiempo de la distribución territorial de la Red Pluviométrica.

No es sino en 1970 cuando, a impulsos del Proyecto SPA-15, se recuperan algunas de las estaciones y se incrementan los lugares de control con pluviógrafos y aparatos totalizadores de montaña. Sólo 3 de ellos tendrían continuidad.

- Entre **1970** y **1980** la red pluviométrica contaba con **61** estaciones: 56 (INM) + 1 (Izaña) + 1 (Aeropuerto de Los Rodeos) + 3 (SPA-15).

III.6.2. La Red de Montes

En 1980, coincidiendo con el Proyecto MAC-21, la mayoría de las nuevas estaciones habían dejado de funcionar.

- En el año **1980** la Red había quedado reducida a **49** estaciones.

En 1985, a instancias del ICONA nació la denominada Red de Montes. Por su cuenta, este organismo cubrió la corona forestal con una densa red de pluviómetros totalizadores de lectura mensual y/o bimensual. El Patronato del Parque Nacional del Teide (PPNT) se hizo cargo de 8 estaciones. Por esas fechas, el INM también incrementó su red con estaciones de medida diaria.

En algún momento, la información pluviométrica de medianías y de cumbre la aportaban 175 nuevas estaciones; la mayoría de lectura totalizada. A finales de los años ochenta 50 de esas nuevas estaciones quedaron fuera de servicio.

III.6.3. Las nuevas Redes

En el documento de Avance del Plan Hidrológico Insular de Tenerife (PHI), que inició su redacción a finales de los años ochenta, la HIDROLOGÍA vino a ocupar varios capítulos. La construcción del Balance Hídrico y la evaluación de la Recarga exigían disponer de toda la información climatológica disponible. Por parte del CIATF se rescató parte de la información no procesada de las estaciones de ICONA y del Proyecto-SPA15; además, la mayoría de las estaciones de ICONA que habían dejado de registrar se reincorporaron a la red.

Por otro lado, el Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA**)** ya venía tomando registros en la media docena de estaciones totales heredadas del INIA.

- En el año **1990** la red operativa la componían **225** estaciones.

Con la desaparición de ICONA el Patronato del Parque Nacional del Teide (PPNT) asumió el control y toma de datos de las estaciones que se encuentran en del interior del Parque; a su vez, el Área de Medio Ambiente del Cabildo (AMAC) y el CIATF se hicieron cargo de la Red de Montes.

El INM estructuró su Red reduciéndola en más de 50 aparatos.

- En el año **2000** la red de registros de lluvia la componían **180** estaciones.

Por esas fechas el Parque Rural de Teno (PRT) ya disponía de su propia red me-

teorológica y el Área de Agricultura del Cabildo a través de AGROCABILDO[4] venía construyendo su propia red de observación meteorológica.

- En el año **2005** la red pluviométrica volvió a contar con **225** estaciones.

Durante el período comprendido entre 1985 y 2005 la red pluviométrica era:

✓ **extensa** en número de estaciones
✓ bastante **densa**
✓ con **cobertura territorial** suficiente

Fueron, pues, 20 años de excelencia en los que sólo algún enclave –p.ej.: el Valle del Bufadero en Anaga Sur– carecía de cobertura de registros de lluvia.

A partir de 2010, con la irrupción de la «crisis», la red de control climatológico, en general, y la pluviométrica, en particular, se vieron sensiblemente afectadas. La AEMET suspende la toma de registros en varias estaciones. De otro lado, el AMAC, el CIATF y el PPNT abandonan la gestión de la Red de Montes; aunque meses después, el AMAC se hizo cargo de algunas de las estaciones abandonadas.

No obstante, también hubo noticias positivas, como que:

✓ AGROCABILDO venía ampliando su red con nuevas estaciones totales.
✓ El ICIA también lo hizo con la suya hasta con 6 nuevas estaciones.
✓ El PRT también con 3 nuevas estaciones.
✓ El PPNT inició la construcción de su propia red con 2 estaciones.
✓ En el año **2015** las **185** estaciones existentes suponían 1 estación/**11** km^2

Sin embargo, el sector noroeste de la Corona Forestal y gran parte de Las Cañadas todavía quedaban fuera de la red de registros de lluvia.

III.6.4. La Red Pluviométrica Actual

Aunque en la Corona Forestal siguieron produciéndose nuevas pérdidas de puntos de registro, entre 2010 y 2015 también hubo altas importantes:

✓ El ITER creó su propia red con 2 estaciones.

✓ El PPNT densificó su red con 3 nuevas estaciones totales.

✓ El PPNT retomó el control de sus estaciones totalizadoras.

El recinto de Las Cañadas empezó a contar, a partir de esa fecha, con una aceptable red de control de lluvia. La peor parada seguía siendo la Corona Forestal, con grandes lagunas territoriales de toma de registros.

[4] Servicio de difusión y asesoramiento al medio rural

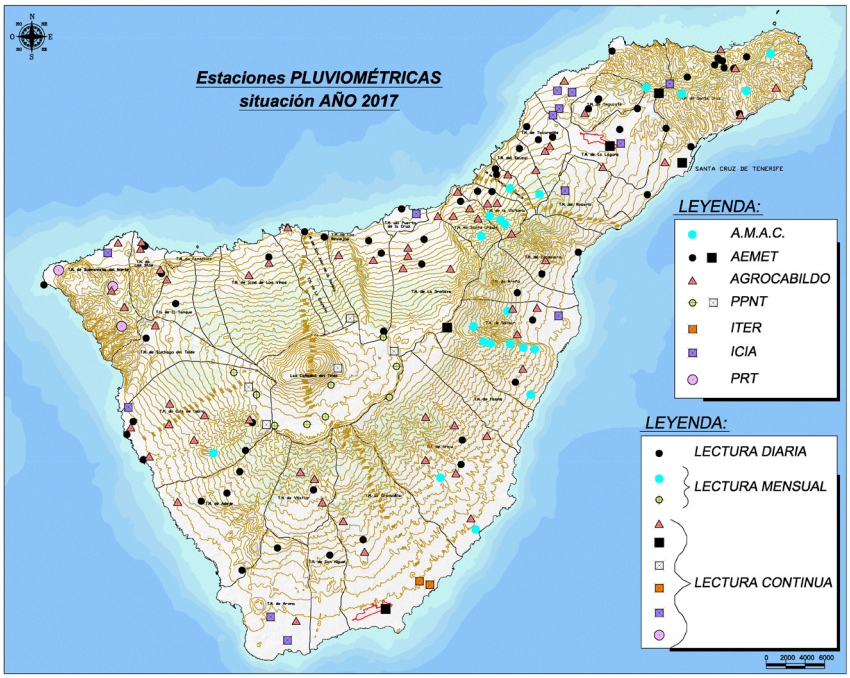


Figura 18. Red conjunta actual de estaciones que disponen de control pluviométrico

III.7. LA PLUVIOMETRÍA HISTÓRICA MEDIA INSULAR

III.7.1. Distribución temporal

El valor de la **precipitación anual media** insular, obtenido a partir del análisis estadístico de las series históricas de precipitación del período 1944/45-2014/15, es de 423 mm, equivalente a unos 860 hm³/año, cuya distribución en el tiempo es:

PRECIPITACIÓN CONVENCIONAL MEDIA														
Período	**PC**	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	**AÑO**
1944/45 --	mm	69	57	50	28	11	4	2	3	9	36	72	82	**423**
2014/2015	hm3/año	**140**	**116**	**102**	**57**	**22**	**8**	**4**	**6**	**18**	**73**	**146**	**167**	**860**
	%sAño	16	13	12	7	3	1	0	1	2	9	17	19	100

Tabla 5. Distribución mensual de la pluviometría media insular

Diciembre es el mes que registra mayor valor de precipitación media (82 mm/mes), mientras que julio con poco más de 1 mm/mes es el más seco del año.

III.7.2. Distribución territorial

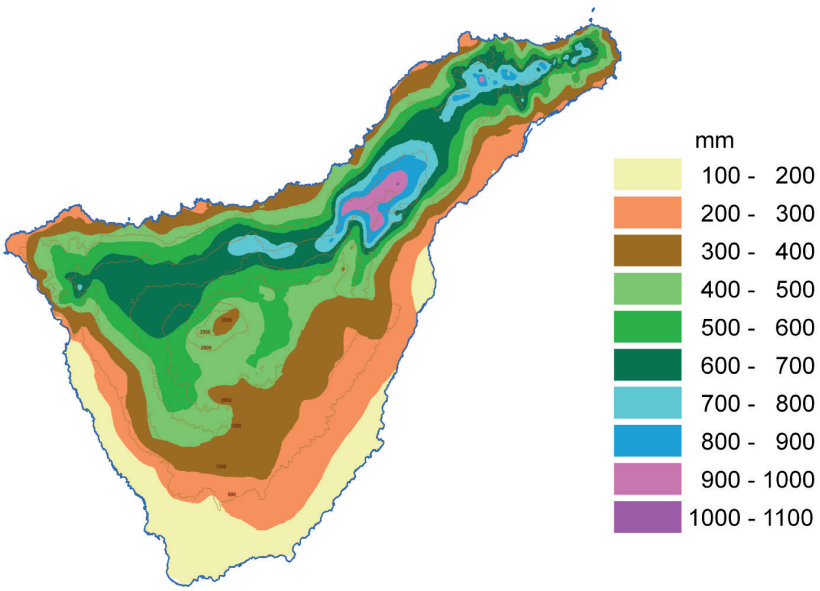


Figura 19. Reparto de la pluviometría media insular del período histórico 1944/45-2014/2015.

III.8. LAS PRECIPITACIONES EXTREMAS

Es común considerar la lluvia máxima registrada durante el período de 24 horas como umbral característico del régimen pluviométrico extremo.

La isla cuenta con alrededor de un centenar de estaciones pluviométricas con series históricas de registros de lluvia diaria o continua. En los últimos **75** años:

- ✓ En más de una **docena** de estaciones se han superado 200 mm/día. Tres de ellas (Santa Cruz, S/C-Urbanización Anaga y S/C-Bco. Las Huertas) lo hicieron con ocasión del temporal del día 31 de marzo de 2002. El del día 1 de febrero de 2010 dejó también lluvias superiores a los 200 mm/día (en Santa Cruz - Anaga, El Rosario, El Tanque, El Valle de Güímar y Las Cañadas del Teide).
- ✓ La estación de **Izaña** (2364 m de altitud) es con diferencia la más afectada por fenómenos extremos de lluvia:
  - En **3** ocasiones la lluvia ha superado 300 mm/día à 1 día/25 años
  - En **7** ocasiones la lluvia ha superado 200 mm/día à 1 día/10 años
  - En **25** ocasiones la lluvia ha superado 100 mm/día à 1 día/3 años
- ✓ La estación de **Vilaflor** (1409 m) también ha sido receptora de lluvias extraordinarias:

- En 1 ocasión la lluvia ha superado 300 mm/día à 1 día/60 años
- En 22 ocasiones la lluvia ha superado 100 mm/día à 1 día/3 años

✓ Las estaciones de **Los Rodeos** (634 m) y de **Anaga-Mercedes** (698 m), en el municipio de La Laguna, han recibido precipitaciones extremas similares:

- En 1 ocasión la lluvia ha superado 200 mm/día à 1 día/75 años
- En 10 ocasiones la lluvia ha superado 100 mm/día à 1 día/7.5 años

✓ Sólo unas pocas estaciones, la mayoría próximas a la costa, no han superado los 100 mm/día: San Miguel (598 m), Arona-Punta Rasca Faro (23 m), Arona-Guaza (81 m), …

III.9. LOS TEMPORALES EXTRAORDINARIOS

III.9.1. De su representación gráfica

Desde que el MHSup está operativo, quien suscribe ha tenido la suerte de poder explotarlo para diversos usos; de entre todos, el más habitual ha sido la actualización del Balance Hídrico Insular (BHI). Una de las tareas previas era la construcción de planos de isoyetas; aunque éstas eran relativas a lluvias mensuales, en varias ocasiones venían a representar la huella del paso de alguno de los temporales que visitan la isla. Dado el uso concreto que tenían esos planos su duración era efímera.

Más convincentes que las imágenes de esas isoyetas son las que se obtienen a partir del Módulo de Gestor de Tormentas 2011 (MGT); herramienta ésta que, construida a instancias del CIATF, permite caracterizar y representar en el tiempo cualquier episodio tormentoso -en el ámbito territorial de la isla de Tenerife- a partir de la información puntual facilitada por el conjunto de estaciones meteorológicas disponibles en la fecha del suceso. Ahora bien, para mostrar gráficamente el desarrollo de alguno de ellos habría que ocupar un buen número de páginas con las sucesivas instantáneas del temporal.

Sin embargo, a través del Visualizador de Resultados del MHSup pueden obtenerse mapas de isolíneas de precipitación relativas a cualquier mes del período 1944/45-2014/15. Dichos mapas no representan tormentas aisladas pues son producto del análisis conjunto de los sucesos de lluvia habidos en el mes. No obstante, por lo general, los grandes temporales suelen destacar sobremanera del resto de los aguaceros, por lo que cabe hacer la abstracción de que el mapa de isoyetas mensual puede ser representativo de ese evento característico.

III.9.2. Inventario

Los temporales representados son algunos de los ocurridos en los últimos setenta y cinco años que mereciendo el calificativo de extraordinarios se concentraron, con toda su intensidad, en alguna zona concreta de la isla.

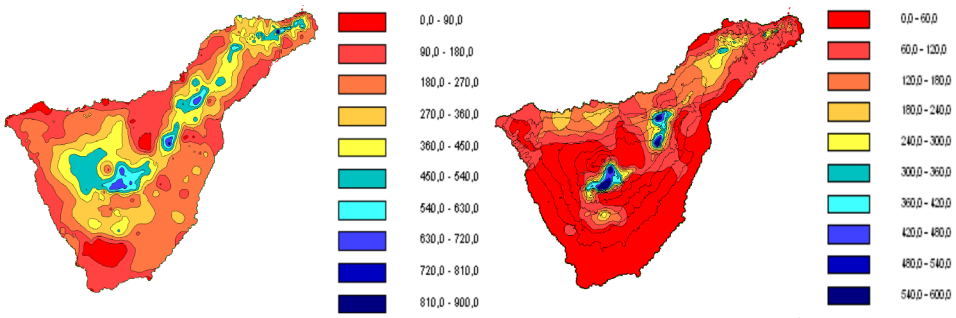


Figura 20. Mapas de isoyetas de noviembre de 1950 y noviembre de 1968 (L/m²)

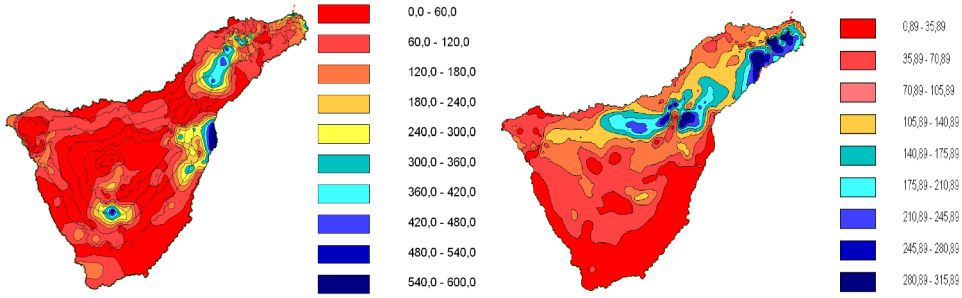


Figura 21. Temporales de abril de 1977 y 3 temporales de marzo de 2002 en el Valle de La Orotava (días 12 y 13); el Valle de Güímar (días 17 y 18) y la costa de Anaga sur (día 31) (L/m²)

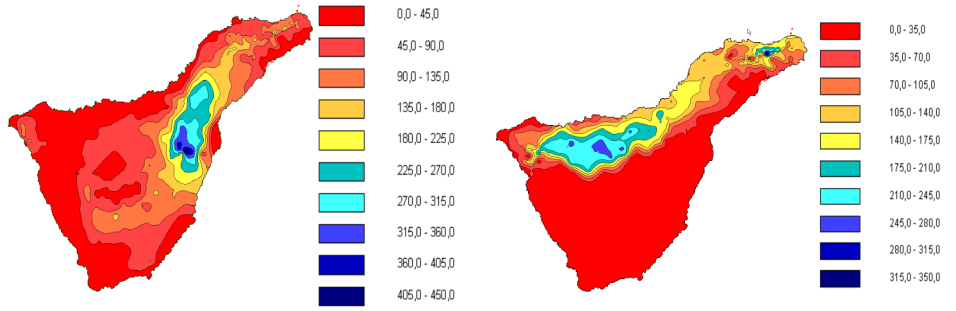


Figura 22. Mapas de isoyetas de enero de 2007 y noviembre de 2009 (L/m²)

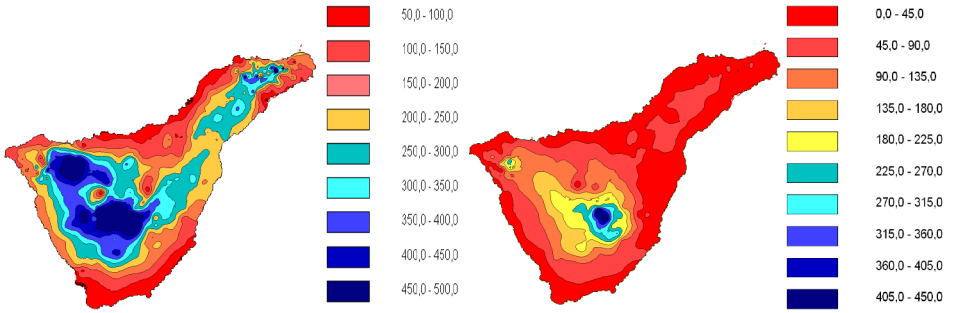


Figura 23. Mapas de isoyetas de febrero de 2010 y marzo de 2013 (L/m²)

III.10. LOS TEMPORALES «TIPO»

III.10.1. Comentarios previos

La interpretación de los mapas de isoyetas precedentes, junto con la de otro grupo de temporales no extraordinarios que traemos a estas páginas, nos da ocasión para hacer una caracterización tipológica, muy simple, de los distintos temporales que visitan la isla. Se han seleccionado varios de entre los sucedidos dentro del período 1985-2014, al ser éste el que mayor grado de representatividad gráfica ofrece ya que, en esas fechas, la red pluviométrica activa daba cobertura a casi todo el territorio. En la muestra se clasifican los temporales según el cuadrante por el que hacen su entrada a la isla: de NORESTE, de NOROESTE o de SUROESTE.

NOTA: Las notas que, sin ninguna pretensión científica, se aportan en los siguientes apartados no son sino percepciones respecto de la relación de la lluvia con el territorio, obtenidas a resultas de la elaboración de más de un centenar de mapas de isoyetas de la isla así como de la observación directa y ocasional del desarrollo, en el espacio y en el tiempo, de varios episodios de lluvia.

III.10.2. Los temporales del NORTE

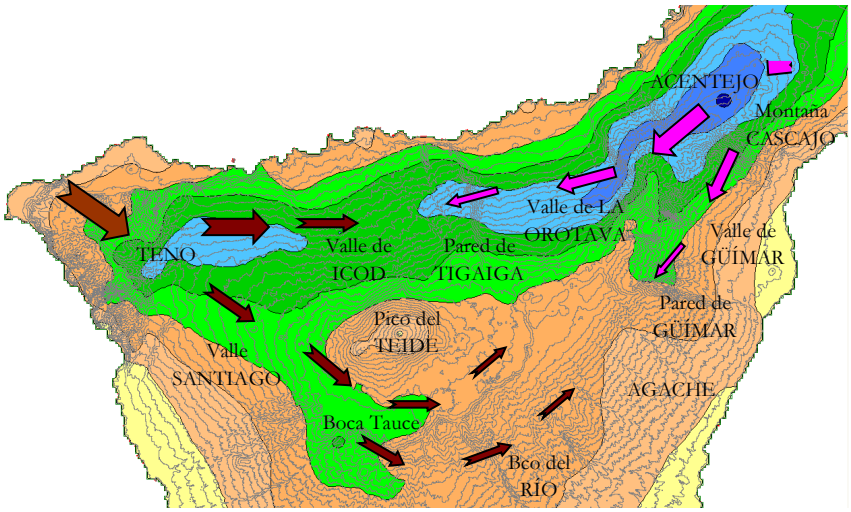


Figura 24. Recorrido de los temporales del NE y del NW

Las nubes asociadas a un temporal del **noreste** irrumpen por Anaga:

- En su recorrido por la vertiente norte parte del flujo de nubes es interceptado por la Pared de Tigaiga recorriendo el Valle de Icod muy mermado.
- La altura topográfica de 2000 m.s.n.m. (inmediaciones de Montaña Cascajo) suele ser el límite superior de desbordamiento de las nubes de una a otra vertiente, irrumpiendo dentro del Valle de Güímar.
- La denominada Pared de Güímar intercepta el recorrido de las nubes hacia la zona de Agache-Fasnia y por ende el resto de la vertiente meridional de la isla.

El flujo de nubes que penetra en la isla por el macizo de Teno se debe generalmente a temporales del **noroeste**. Cuando aquel alcanza las faldas del Teide, la montaña -haciendo de bisagra- lo fractura en dos ramales principales:



Figura 25. El grueso de nubes de un temporal impactando con la montaña del Teide (Fco. Mangas)

- Uno de ellos avanzará por el norte alcanzando la pared occidental del Valle de La Orotava (Pared de Tigaiga) y se adentrará por el Valle hasta toparse con la pared oriental, donde quedará retenido parte de ese flujo.
- El que lo hace por el sur desbordará hacia Valle Santiago y, al llegar a Boca Tauce, la Pared de la gran caldera Las Cañadas vuelve a dividirlo en dos:
    - El subflujo superior puede llegar a introducirse en el recinto del Parque Nacional del Teide, descargando sobre el Llano de Ucanca.
    - El inferior, alcanza el barranco de El Río –divisorio entre Arico y Granadilla– dejando fuera de su alcance la zona de Agache-Fasnia y el cuadrante suroriental de la isla.

III.10.3. Los temporales del SUR

En general hacen su entrada por el cuadrante suroccidental. El grueso de las nubes suele quedarse anclado en las faldas meridionales de la Montaña del Teide.

En **diciembre de 2002** dos temporales de Sur visitaron las islas con diez días de separación; el dibujo conjunto de sus respectivas isoyetas muestra que la zona de mayores precipitaciones se localizó en la cumbre del vértice sur.

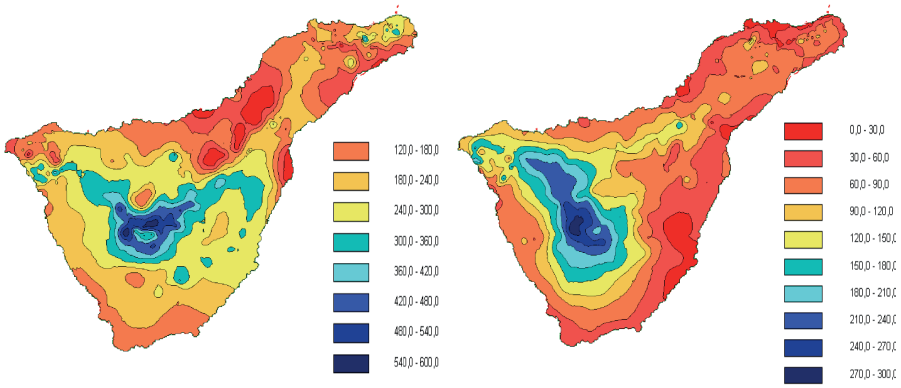


Figura 26. Mapa de isoyetas de diciembre de 2002 y de febrero de 2004 (L/m2)

Las isoyetas de febrero de 2004 también parecen denunciar el estancamiento de las nubes de mayor potencial hídrico al pie de las faldas del Teide.

III.10.4. Los temporales de «gota fría» o DANAS

Las DANAS (Depresiones Aisladas en Niveles Altos) se caracterizan porque:

- Su ámbito de afección se limita a zonas concretas.
- Dan lugar a lluvias abundantes e intensas.
- En altura se localizan en los niveles altos de la atmósfera.

El día 17 de marzo de 1993 el pluviómetro del Centro de Observación Meteorológica de Izaña registró el valor más alto de su serie histórica: 337 L/m^2. Dado que en el resto del mes apenas hubo lluvias –al menos en el entorno de Izaña- puede asumirse que las características de dicho evento fueron las que se deducen del mapa de isoyetas del mes de marzo representado en la figura: lluvias abundantes e intensas que vertieron, fundamentalmente, sobre el Llano de Ucanca y las Cañadas del Teide, así como en la zona de cumbre de las laderas que circundan a ambos enclaves geográficos por el sur de la isla.

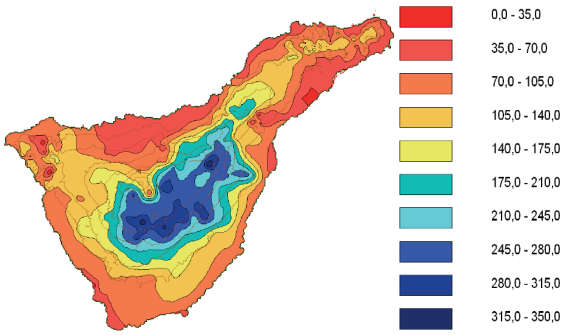


Figura 27. Mapa de isoyetas de marzo de 1993 (L/m2)

III.11. RELACIÓN DE LA LLUVIA CON LA OROGRAFÍA INSULAR

III.11.1. Aspectos generales

La isla no sólo se ve afectada por esos temporales «tipo»; también es receptora de otros episodios de lluvia no tan reglados como aquellos, pero -no por ello- menos significativos respecto del régimen pluviométrico insular. No obstante, parece que son, precisamente, los primeros los que con mayor fuerza le dejan su impronta.

Las isoyetas del mapa de la figura nº 19 definen la distribución regional de la lluvia anual media de los últimos setenta y un años. En dicho mapa se evidencian los rasgos generales de la distribución espacial de la lluvia en la isla; rasgos éstos que son consecuencia de factores tales como:

- ✓ Su localización geográfica respecto de la circulación atmosférica: favorable a la llegada de borrascas de diversos tipos y orígenes.
- ✓ Su alineación respecto de las entradas de las masas de aire húmedo: cuasi transversal cuando lo hacen tanto por el NE como por el NW.
- ✓ Su escarpado relieve, la orientación de sus vertientes, de sus laderas y de sus profundos barrancos.

Entre unos y otros dan lugar a que en Tenerife:

- Existan sensibles diferencias entre los registros de lluvia en la zona de «costa» respecto de los que se miden en la de «medianías» y en la de «cumbre».
- El extremo oriental –el Macizo o Península de Anaga- sea más húmedo que el occidental –el Macizo de Teno-.
- La vertiente norte reciba más lluvia que la del sur; siendo, además, mucho más frecuente en la primera.
- En la vertiente septentrional el gradiente pluviométrico cambie de sentido.

III.11.2. Aspectos locales

Los precedentes son rasgos muy generales, de sobra conocidos e incluso comunes alguno de ellos, a los de las restantes islas del Archipiélago. No obstante, son otros aspectos de ámbito local los que queremos traer a estas páginas.

Vinculando el mapa de isoyetas con el topográfico (Figura 28) se aprecia que:

- ✓ La mitad occidental de la vertiente norte recibe menos lluvia que la oriental.
- ✓ Dentro de esa mitad occidental, en el Valle de Icod se acusa más la diferencia.
- ✓ La cumbre oriental del Valle de Güímar –Candelaria y Arafo- localizada en la vertiente de sotavento, goza de una pluviometría similar a su homológa –La Matanza y La Victoria- en la de barlovento.
- ✓ La zona de montes de Fasnia es precisamente la menos favorecida por la lluvia de todo el anillo forestal de la isla.

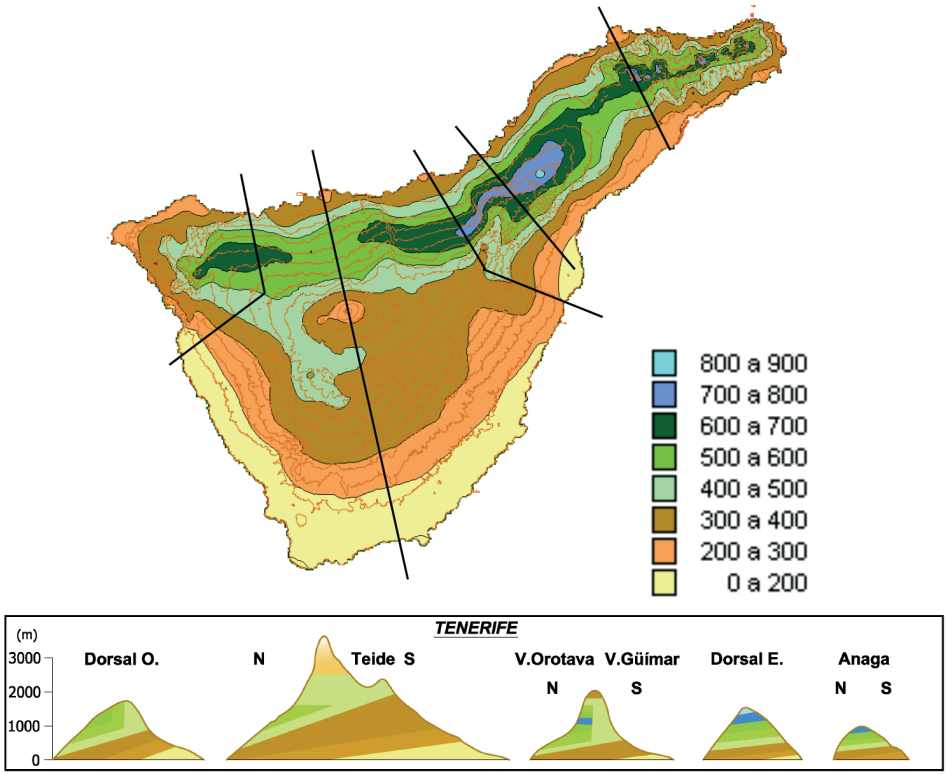


Figura 28. Esquemas del reparto altitudinal de la lluvia en varios perfiles de la isla (1985/86-2014/15)

Si además lo comparamos con los mapas pluviométricos de otras islas:

- ✓ Las Cañadas y el Valle de Ucanca, localizados a cotas entre la 2000 y la 2200 m.s.n.m., reciben menos de la mitad de la lluvia que la que se registra en entornos similares de las islas de La Palma y Gran Canaria.
- ✓ El gradiente pluviométrico en la vertiente norte de la isla de Tenerife acusa un brusco cambio de sentido que no se produce en las dos islas citadas.

Singularidades éstas que se comentan e ilustran con imágenes en un apartado posterior.

III.11.3. De la inversión del gradiente pluviométrico

Las aportaciones de lluvia convencional, junto con las de la nieve, se distribuyen en altura, de costa a cumbre, de acuerdo a un gradiente positivo que se interrumpe bruscamente en la franja central del norte de la isla, donde cambia de signo.

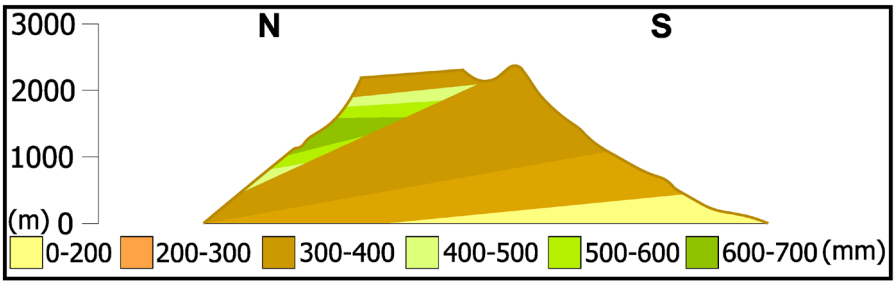


Figura 29. Distribución esquemática de la pluviometría en la franja central del norte de la isla

- ✓ En el Valle de La Orotava, los 350 mm de lluvia media que se registran a los 100 m de altura se convierten en 750 mm a la cota de 1100 m; lo que supone un gradiente de +**40** mm/100 m.
- ✓ Por encima se invierte la tendencia dando lugar a que en Izaña (2364 m de altura) se registren valores medios anuales de unos 475 mm, que supone un gradiente negativo de –**23** mm/100 m.

Las paredes que conforman ambos Valles, pero -sobre todo- el conocido «efecto pantalla» de la montaña del Teide frente a los temporales del NW y su incidencia negativa en la pluviometría de Las Cañadas, son los elementos orográficos que contribuyen a acentuar la inversión del gradiente pluviométrico. Inversión que sólo afecta a la mitad noroccidental de la isla; concretamente, a la franja comprendida entre la Pared de Aguamansa y el Macizo de Teno, a la altura aproximada de 1150 m.s.n.m. En la vertiente meridional apenas parece atisbarse una ligera señal de su existencia.

III.11.4. Del gradiente pluviométrico en el recinto de Las Cañadas

Dentro del recinto de Las Cañadas, pluviómetros como el de Cañadas-Parador (2164 m) situados a menor cota que el de la estación de Izaña miden valores de precipitación similares a los de ésta (475 mm), cuando de acuerdo al componente superior del gradiente les correspondería un valor medio de precipitación anual de entre alrededor de 520 mm. La cercanía de aquellos a las faldas del Teide acusa con más intensidad el comentado «efecto pantalla» que el pluviómetro de Izaña, más alejado y por tanto mucho más abierto y expuesto a todo tipo de temporales.

No obstante, a esta minusvaloración también contribuye la inexistencia de nivómetros en la zona de cumbres, que no permite distinguir entre la precipitación convencional y la nieve. Los registros de ambos meteoros se miden en conjunto, haciéndose la competencia. Por otro lado, la elevada velocidad del viento que acompaña a los temporales en estas zonas altas impide el correcto acceso de la lluvia a los cuencos receptores de los pluviómetros convencionales[5]. Factores tales

[5] En le centro meteorológico de Izaña se ha podido comprobar que, en las temporadas de lluvia con acompañamiento de fuertes vientos un pluviómetro orientado en la dirección de aquel mide cantidades de lluvia superiores un 35% a las que mide un pluviómetro vertical.

como: colmataciones, congelación del agua meteórica, evaporación…, también han venido afectando en negativo a los registros de lluvia en las estaciones localizadas en el recinto de Las Cañadas; mientras que en la de Izaña se corresponde realmente con la precipitación total conjunta (lluvia convencional + nieve)[6].

En el entorno de Las Cañadas del Teide, incluido el propio macizo montañoso, la precipitación convencional media anual que se deduce del tratamiento de las series de registros de los últimos 30 años se cifra en unos 380 mm; no obstante, se estima que ha debido superar los 400 mm, por las circunstancias comentadas. Por la misma razón, los 450 mm deducidos para el período histórico están igualmente infravalorados.

III.11.5. Reparto altitudinal de la lluvia en otras islas del Archipiélago

Tenerife es la única isla del Archipiélago que acusa la inversión del gradiente pluviométrico. En La Palma y Gran Canaria, cuyos techos topográficos −2000 y 1950 metros de altura respectivamente− superan con creces la altura donde se produce la inversión del gradiente en Tenerife (1150 m), las isoyetas incrementan su valor de mar a cumbre. Además, por encima de esa cota, Gran Canaria recibe más del doble de lluvia que Tenerife y La Palma más del triple.

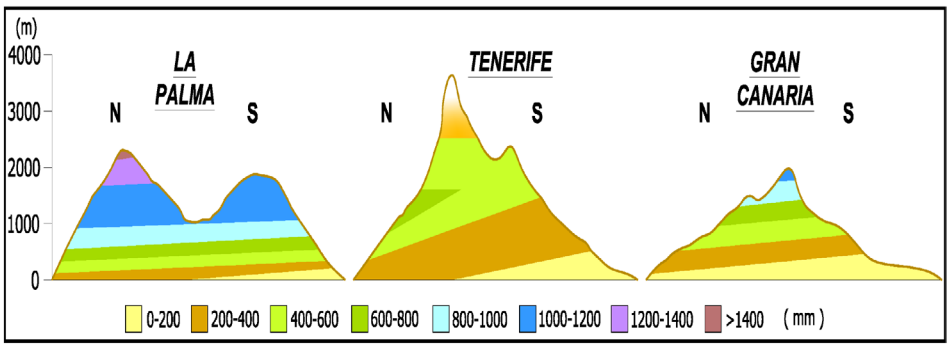


Figura 30. Distribución en altura de la lluvia en La Palma, Tenerife y Gran Canaria.
En La Palma y Gran Canaria la lluvia se reparte con gradiente positivo de mar a cumbre.

Dos razones justifican esas diferencias; sobre todo con respecto a la segunda:

1. La privilegiada situación de La Palma respecto de los temporales atlánticos.
2. La presencia de la Montaña del Teide ante los temporales del NW.

Esta situación, de estancamiento y división de las nubes a tan considerable altura, es obvio que no puede ocurrir en las islas de La Palma y de Gran Canaria. En éstas, los temporales afectan, sin obstáculo que los detenga, sus zonas de cumbre donde el conjunto de los registros de lluvia dan lugar a isomáximas de hasta 1.400 L/m^2 en la primera y más de 800 L/m^2 en la segunda, frente a los algo más de 500

[6] El pluviómetro dispone de un aparato calefactor y además la medición se realiza varias veces al día.

L/m^2 que se miden en el recinto de Las Cañadas, a la misma altura que en las dos islas citadas. Sucede que, mientras que en éstas sus respectivas zonas de cumbre están abiertas a la llegada de cualquier temporal de altura, en Tenerife no logran alcanzarla debido al «efecto pantalla» de la montaña del Teide.

Sin embargo, el régimen pluviométrico del tercio oriental, así como el de la península de Teno en el otro extremo, –ambos enclaves fuera de la influencia del Teide– es muy similar al de las otras islas occidentales e incluso al del de Gran Canaria:

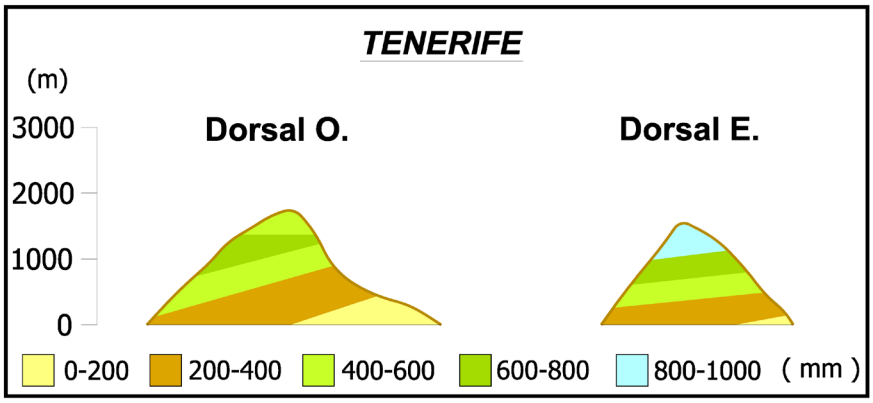


Figura 31. Distribución en altura de las lluvias en las dorsales Oeste y Este de Tenerife.

- La lluvia se reparte de costa a cumbre con un gradiente positivo.
- No se produce la inversión del gradiente; sólo se atenúa en altura.
- Los valores máximos de precipitación ocurren justo en el casquete de cumbre.
- En la cumbre de la dorsal este se miden precipitaciones semejantes a las de Gran Canaria a esa misma altura.

Entre ambos enclaves, el dibujo de isoyetas en los valles de La Orotava y de Icod es consecuente con la presencia de la Montaña del Teide:

- El gradiente positivo sólo alcanza hasta las medianías.
- Hacia los 1150 m. s.n.m. el gradiente cambia de signo.
- El núcleo de máximas precipitaciones se ha desplazado a cotas más bajas; coincidiendo, lógicamente, con la zona de inversión del gradiente.
- Sobre la cota 2100 m.s.n.m. se miden precipitaciones similares a las que se registran cerca de la costa.

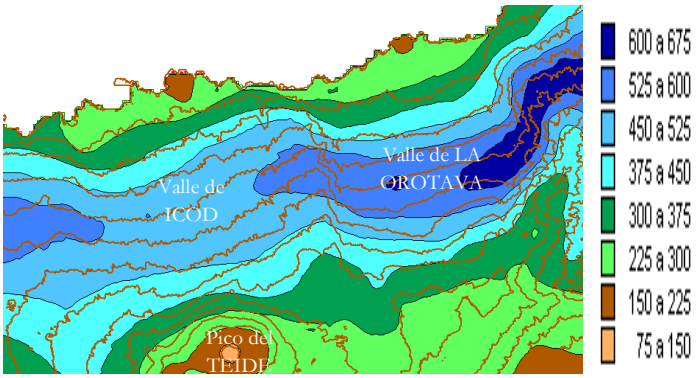


Figura 32. Isoyetas medias en los valles de Icod y de La Orotava
Precipitación en mm o L/m2. Curvas de nivel cada 250 metros

III.12. CONSIDERACIONES FINALES

Lo comentado no tiene porqué significar que esta isla reciba menor cantidad de lluvia debido a la presencia de la Montaña del Teide. Los 740 L/m^2 de lluvia anual media[7] en La Palma son consecuencia de su posición avanzada respecto de los temporales atlánticos; tal registro no sólo destaca respecto de los 423 L/m^2 de Tenerife, sino de los del resto de las islas, incluida Gran Canaria. Esta última, con la que cabe mejor contraste, recibe 340 L/m^2/año; es decir, 80 L/m^2/año menos que Tenerife.

En definitiva, no es cuestión de más o de menos; se trata de que en esta isla la lluvia se reparte de manera diferente, a como lo hace en el resto, debido a la existencia de nuestro siempre querido y admirado «Teide».

[7] Equivalente al valor promedio de la precipitación anual media en todo el planeta Tierra, por lo que a La Palma le cabe el calificativo de «húmeda».

CAPÍTULO IV
LA LLUVIA HORIZONTAL

IV.1. LA «PAN» EN EL CICLO HIDROLÓGICO

Durante buen número de días al año, las islas reciben el regalo de los vientos **alisios**; vienen cargados de humedad después de un largo recorrido sobre el océano. Cuando estas corrientes de aire remontan las empinadas laderas septentrionales de las islas más elevadas, experimentan un enfriamiento progresivo que ocasiona la condensación de su vapor de agua y la formación de las singulares **nubes de niebla**, tan características del Archipiélago. Al entrar en contacto con el territorio, las nubes depositan pequeñas gotas de agua en las hojas de los árboles. Se produce así lo que conocemos como **captación natural** de agua de niebla.

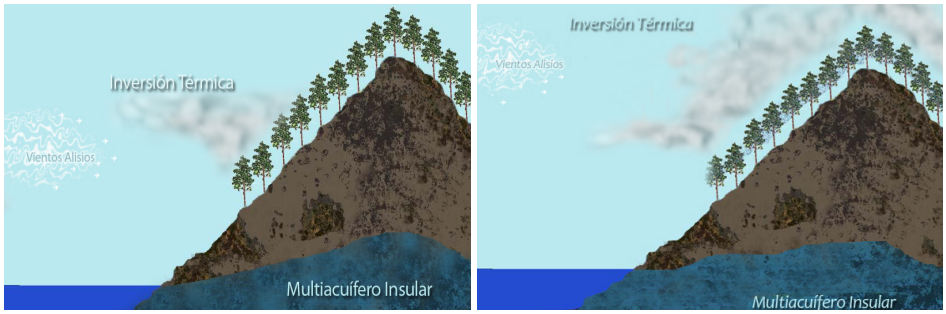


Figura 33. La inversión térmica limita la cota del techo de las nubes.

En verano los vientos alisios se desplazan en cotas más bajas que en invierno. Si la altura del techo es muy inferior a la del territorio que los intercepta, las nubes apenas ascenderán unos cuantos metros ladera arriba, sin poder remontar la línea de cumbre; se produce su *estancamiento* dando lugar al típico «mar de nubes». En tal situación, sólo contacta con el territorio el frente del manto, con lo que apenas existe captación de agua de niebla; a la postre, casi toda el agua depositada en las hojas se **evapora** desde las mismas copas de los árboles (Figura 33izda.).

Si la diferencia de cota a favor de la cumbre no es grande (figura 33dcha.), las nubes la *desbordan* haciendo posible un tránsito continuado de niebla que se desliza por y a través de la arboleda; sobre todo, si su circulación se ve favorecida por el viento. En tal caso, la cantidad de agua de niebla depositada en la vegetación por estas nubes, que hemos denominado de *desbordamiento*, puede ser notable, con lo que el agua acumulada en las hojas y no evaporada acaba cayendo al suelo. Estamos ante el fenómeno de la llamada lluvia indirecta u horizontal o Precipitación oculta o Precipitación de Agua de Niebla (PAN).

De la misma forma, las nubes de inestabilidad atmosférica también pueden dar lugar a este tipo de precipitación cuando son interceptadas por la vegetación.

Aunque en algún entorno muy localizado el agua de niebla precipitada por uno u otro tipo de nubes puede generar escorrentía superficial; lo cierto es que casi toda se **infiltra**, quedando buena parte retenida en las capas superficiales del terreno, como alimento de las reservas hídricas del subsuelo, que por lo regular consume la vegetación. Así que al final, el efecto evapotranspirante acaba por devolverla a la atmósfera (figura 34izda); de modo que su participación directa en el Balance Hidrológico Insular (BHI) casi se limita al capítulo de la evapotranspiración.



Figura 34. Parte del agua de niebla precipitada vuelve a la atmósfera por transpiración. En ocasiones también puede alcanzar el multiacuífero insular – Imagen dcha.

No obstante, en algún momento, estando ya colmadas las reservas hídricas del subsuelo, el agua de niebla infiltrada puede alcanzar suelos más profundos, alcanzando acuíferos colgados e incluso el sistema acuífero general, complementando la **recarga** procedente de la lluvia vertical (figura nº 34dcha).

Se trata, por tanto, de evaluar cuantitativa y distributivamente la captación natural de agua de niebla por la vegetación y cuanta de ésta precipita para averiguar su contribución, junto con la captada por la propia roca, a cada uno de los elementos del balance hídrico; sobre todo a la recarga del sistema acuífero insular.

IV.2. LA «PAN» COMO RECURSO HÍDRICO INSULAR

El fenómeno meteorológico descrito es bien significativo en entornos de la isla muy localizados, tales como los collados y las crestas de la vertiente septentrional de la isla. En estos lugares y durante determinadas épocas del año el agua de niebla captada y precipitada por y desde la hojarasca de los árboles supera con creces los aportes de la lluvia convencional. Experimentos puntuales y aislados, tanto en el tiempo como en el espacio, han permitido cuantificar este aporte hídrico complementario y establecer contrastes que, en lugares muy concretos, le han resultado muy favorables. Ahora bien, si la consideración se hace a nivel regional se invierten los términos de la proporción muy del lado de la lluvia convencional, reduciendo el aporte medio anual de la lluvia horizontal a sólo unas decenas de L/m^2. Y es que para la generación de esta última deben combinarse una gran variedad de factores cuya concurrencia sólo es posible en ámbitos muy localizados.

IV.3. FACTORES CONDICIONANTES DE LA «PAN»

El potencial de captación de agua de niebla en cualquier lugar es función de:

- ✓ El número de días con presencia de niebla, el cual, a su vez, está asociado al número de días en los que la humedad relativa supera el 95%
- ✓ La frecuencia de paso de la niebla, relacionada con la velocidad del viento
- ✓ El grado de afección de las nubes al territorio, dependiente del posicionamiento, espesor y contenido o densidad de niebla de las nubes, factores éstos muy distintos según se trate de nubes de régimen de «alisios» o de «inestabilidad atmosférica»
- ✓ La localización del lugar respecto a la cota de cresta que puede dar lugar a:
  - Nubes de desbordamiento
  - Nubes de estancamiento

Por otra parte, la naturaleza del obstáculo interceptor: roca, vegetación, … así como su dimensión, morfología y densidad – si se trata de vegetación – son factores determinantes en la captación «natural» de agua de niebla y posterior generación de lluvia horizontal. La pendiente del terreno es también un elemento decisivo en este fenómeno meteorológico. Finalmente, incluso la orientación del lugar respecto de los vientos dominantes.

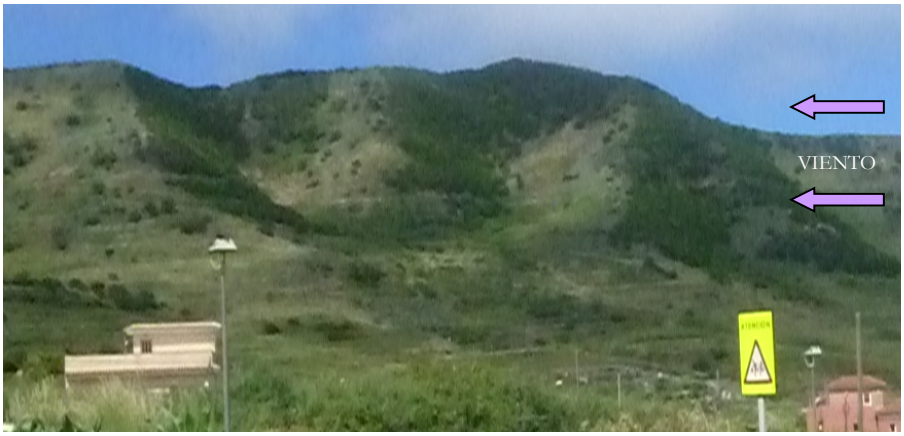


Figura 35. Laderas de las pequeñas vaguadas del Valle de El Palmar en Buenavista. La densidad de vegetación es desigual, según sea la orientación respecto de los vientos dominantes

IV.4. DEFINICIÓN

Ante la imposibilidad material de «medir» este recurso se ha implementado en el MHSup una metodología para su evaluación empírica cuyo desarrollo puede consultarse en el libro: «*La nube, el pino y la otra lluvia*», editado por el CIATF en 2015.

IV.4.1. Distribución temporal

El período con mayor representatividad respecto de la evaluación media de la PAN es el de los últimos 30 años pues es a partir de 1985 cuando se dispone de más registros de las variables climatológicas que intervienen en el proceso de cálculo.

PRECIPITACIÓN HORIZONTAL MEDIA														
Período	PAN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1985/86 --	mm	4,2	4,5	4,5	4,5	3,6	2,9	2,6	2,7	3,0	4,0	4,5	4,7	46
2014/2015	hm3/año	**8,5**	**9,2**	**9,2**	**9,2**	**7,3**	**5,9**	**5,3**	**5,5**	**6,1**	**8,1**	**9,2**	**9,6**	93
	%s/AÑO	9	10	10	10	8	6	6	6	7	9	10	10	**100**
Período	PAN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1944/45 --	mm	4,7	4,7	4,7	4,8	3,9	2,9	2,6	2,7	3,1	4,3	4,7	5,1	48
2014/2015	hm3/año	**9,6**	**9,6**	**9,6**	**9,8**	**7,9**	**5,9**	**5,3**	**5,5**	**6,3**	**8,8**	**9,6**	**10,4**	98
	%s/AÑO	10	10	10	11	9	6	6	6	7	9	10	11	**105**

Tabla 6. Distribución mensual de la Precipitación de Agua de Niebla

IV.4.2. Distribución territorial

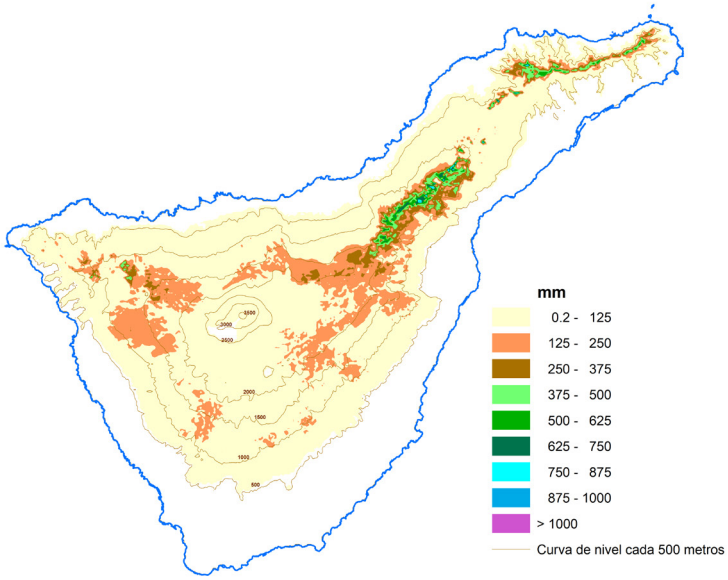


Figura 36. Distribución territorial de la lluvia horizontal media del período 1985/86-2014/15

Los valores más altos de captación y precipitación de agua de niebla (>1.200 mm) se localizan en la cumbre de la cordillera central (dorsal este); le siguen las crestas de las cumbres de Anaga (>750 mm); en tercer lugar, las zonas de cresta de los macizos de Teno y de Tigaiga con valores de alrededor de PAN = 600 mm.

CAPÍTULO V
LA LLUVIA «TOTAL» EN LA ISLA

V.1. INTRODUCCIÓN

Cuando la lluvia horizontal se está generando a partir del contacto de las nubes de inestabilidad atmosférica con los elementos naturales de captación (el arbolado) y a continuación se produce una descarga de lluvia convencional, una y otra lluvia son simultáneas. En determinadas circunstancias, pues, y en ciertos momentos pueden coincidir —aunque no es lo habitual— ambos meteoros. De cualquier forma, coincidan o no en el tiempo, se trata del mismo recurso: agua atmosférica que alcanza el suelo de forma directa o convencional y agua atmosférica que lo hace con la mediación previa de un elemento intermedio, es decir, indirectamente. De ambas hemos averiguado, a través del MHSup, su alcance cuantitativo y su distribución territorial y temporal. En este capítulo hacemos las mismas valoraciones para el conjunto de ambas.

V.2. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL

Durante el período «histórico (1944/45-2014/15) la aportación media de agua de lluvia que ha recibido la isla ha sido de:

423 mm (PC) + 48 mm(PAN) = **471** mm

La misma operación para el período actual (1985/86-2014/15):

376 mm(PC) + 46 mm(PAN) = **423** mm

En cuanto al reparto a lo largo del año:

1944/45 - 2014/15		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
	mm	69	57	50	28	11	4	2	3	9	36	72	82	423
PC	hm3/año	140	116	102	57	22	8	4	6	18	73	146	167	860
	mm	4,7	4,7	4,7	4,8	3,9	2,9	2,6	2,7	3,1	4,3	4,7	5,1	48
PAN	hm3/año	10	10	10	10	8	6	5	5	6	9	10	10	98
	mm	74	62	55	33	15	7	5	6	12	40	77	87	471
PT	hm3/año	150	126	111	67	30	14	9	12	24	82	156	177	958

Tabla 7. Distribución mensual de la Precipitación Total (PT = PC + PAN)

Diciembre sigue siendo el que recibe más agua de lluvia, seguido de noviembre.

Julio y agosto sigue son los menos afortunados con las lluvias.

V.3. DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL

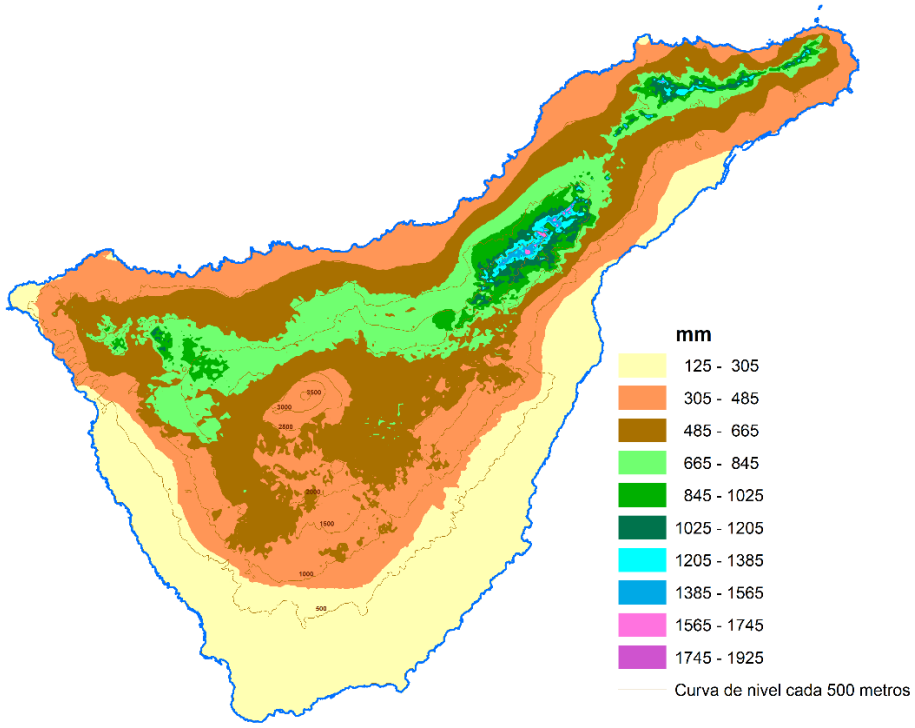


Figura 37. Distribución territorial de la Precipitacón Total media del período 1985/86-2014/15

En apartados precedentes se ha comentado que el efecto pantalla de la montaña del Teide hace resentirse a la baja los registros de lluvia convencional en la mitad superior del Valle de La Orotava incluyendo Las Cañadas del Teide. También se ha destacado que tan imponente edificio impide el trasvase de las nubes del régimen de los alisios de una a otra vertiente, con lo que al no existir tránsito de nubes entre el arbolado apenas se constata la existencia de lluvia horizontal.

La imagen adjunta es suficientemente descriptiva al respecto: el valor máximo de la lluvia conjunta de ambos meteoros en la dorsal este (1.900 L/m^2), alejada y por tanto fuera de la influencia de la montaña, dobla al que corresponde a cada uno de los valles —La Orotava e Icod— que ocupan su falda septentrional.

CAPÍTULO VI
LA TEMPERATURA INSULAR

VI.1. INTRODUCCIÓN

La temperatura es un elemento decisorio en el reparto del balance hídrico de superficie. La precipitación efectiva, es decir aquella que escurre por el suelo y/o se infiltra, y en ambos casos susceptible de convertirse en recurso, es aquella que no ha vuelto a la atmósfera por evapotranspiración; el valor de esta variable hidrológica (ET) está directamente relacionado, entre otros, con la temperatura del aire.

No tiene, pues, la temperatura la consideración de recurso, pero sí es determinante en el resultado del balance hídrico.

Al igual que con el resto de variables climatológicas, cuatro son los atributos que deben avalar la representatividad de la información relativa a la temperatura:

1. La **calidad** de los registros
2. La **extensión** de las series de registros disponible
3. La **cobertura** territorial que ofrece la red
4. La **densidad** de la red

Al respecto, cabe distinguir hasta tres situaciones distintas a lo largo de los 75 años de existencia de la red meteorológica.

VI.2. EVOLUCIÓN DE LA RED TERMOMÉTRICA

VI.2.1. La Red inicial

Entre 1944 y 1950 desde el INM se distribuyeron por la isla 8 estaciones de registro de temperatura diaria que se unieron a 3 de las históricas: Santa Cruz, La Laguna-Instituto e Izaña y a la recién instalada en el Aeropuerto de Los Rodeos.

- En **1950** la temperatura en la isla se registraba en **12** estaciones

VI.2.2. La Red de «Montes»

A mediados de los años ochenta -coincidiendo con la implementación por parte de ICONA de la red pluviométrica- la AEMET (en aquel tiempo INM) amplió también su red de control, no sólo de la lluvia sino de la temperatura y de la humedad relativa.

Por otro lado, el ICIA ya disponía de al menos media docena de estaciones de observación meteorológicas que, lógicamente, registraban la temperatura.

- En **1990** la temperatura en la isla se registraba en **55** estaciones

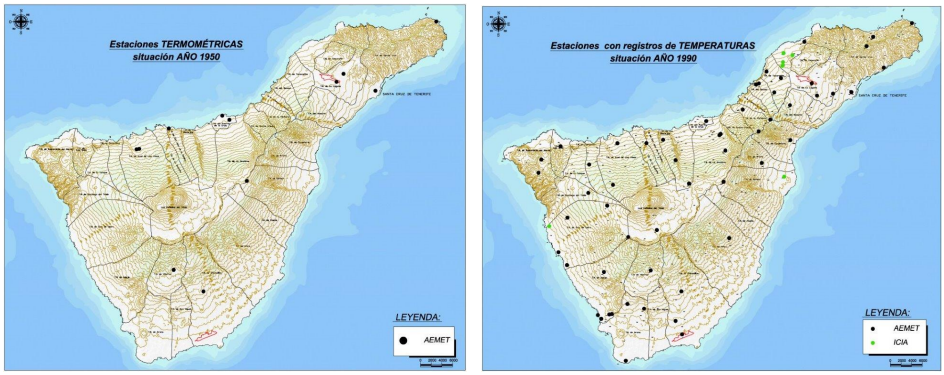


Figura 38. La red de control de temperatura en 1950 y en 1990

VI.2.3. La Red actual

En las últimas décadas determinadas estaciones termométricas localizadas en zonas de medianías a cumbre han desaparecido. Si bien es cierto que con el establecimiento de las nuevas estaciones totales se ha incrementado notablemente el número de puntos de control, también lo es que la mayoría de éstos no cubre los vacíos dejados por los que han quedado inoperantes.

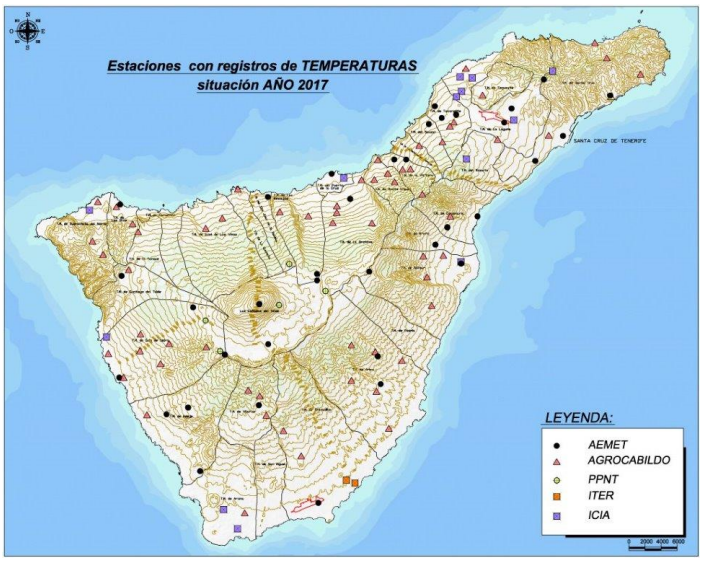


Figura 39. Red de control de las Temperaturas. Situación actual (año 1917)

VI.2.4. Análisis estadístico de la temperatura media insular a partir de las estaciones históricas.

Se han construido tablas semejantes a las de precipitación, esta vez con las medias termométricas cada 10 y 30 años, de las tres estaciones:

TEMPERATURA MEDIA ANUAL SEGÚN DÉCADAS												
ºC	1910-	1920-	1930-	1940-	1950-	1960-	1970-	1980-	1990-	2000-	2010-	MEDIA
Izaña		9,1	9,5	9,6	9,3	9,9	9,4	10,0	10,2	10,5	10,8	9,9
La Laguna	16,4	16,5	15,9	16,3	15,8	16,2	16,0	16,5	16,5	17,0	17,1	16,3
Sta Cruz		20,9	20,8	20,9	20,8	21,1	20,8	21,4	21,4	21,7	21,8	21,2
MEDIA		15,5	15,4	15,6	15,3	15,7	15,4	16,0	16,0	16,4	16,6	15,8

Tabla 8. Temperatura media insular en cada una de las últimas 10 décadas.
El último lapso temporal contempla sólo 5 años (2010-2014)

mm	1925-1955	1955-1985	1985-2015	MEDIA
Izaña	9,5	9,6	10,4	9,8
La Laguna	16,3	16,2	16,7	16,4
Sta Cruz	20,9	21,0	21,6	21,1
MEDIA	15,3	15,6	16,2	15,8

Tabla 9. Temperatura media insular intraperíodos de 30 años

- ✓ En los años que llevamos de la década actual, en las tres estaciones se han medido las mayores temperaturas medias de los últimos 85 años.
- ✓ La temperatura media más baja se deduce en la década de los cincuenta; en esos años hubo una sensible disminución de horas de insolación debido a la alta frecuencia con que la inestabilidad atmosférica afectó a todo el archipiélago.

No obstante, lo más llamativo reside en que:

- ✓ Los efectos del cambio climático no parecen percibirse sino a partir de la década de 1970.
- ✓ Es a partir de esa década – últimos 50 años– cuando se inicia la tendencia al «alza» de la temperatura (0,02º/año).

A la vista de la tabla nº 9, hasta hace cuatro décadas bastaba con series de registros de 10 años de extensión para tener por definida la temperatura media insular. Sin embargo, en estos momentos no puede darse por certero un valor determinado, aunque para su deducción se acuda a las series más extensas disponibles (85 años). El incremento sucesivo que se viene observando en las temperaturas, derivado del Cambio Climático, que también ha empezado a detectarse en las islas, genera medias más altas conforme se han ido alargando las series de registros estos últimos 50 años.

VI.2.5. La temperatura media insular.

De la información que nos ofrecen las tres estaciones históricas se deduce que la temperatura media insular de los últimos 85 años habría sido de alrededor de 15,8 grados centígrados. En el MHSup, si bien se analiza un período más corto (71 años), se opera con bastantes más estaciones termómetricas, repartidas por toda la isla, por lo que los 16,3 grados centígrados que se obtienen en dicha herramienta son verdaderamente representaivos de la temperatura media insular.

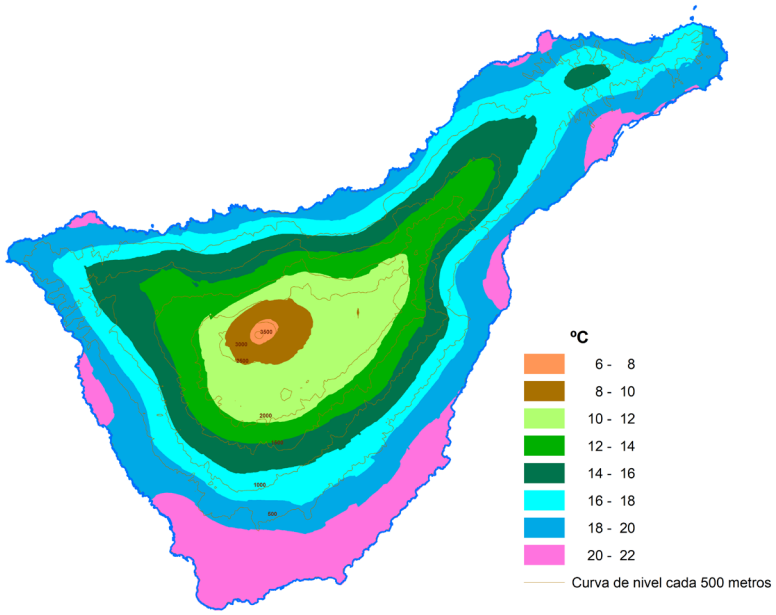


Figura 40. Distribución territorial de la Temperatura media del período 1944/45-2014/15

TEMPERATURA MEDIA DEL PERÍODO 1944/45-2014/15 (ºC)													
T	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	**AÑO**
oC	12,4	12,7	13,8	14,1	15,6	17,8	21,1	21,6	20,0	17,6	15,4	13,4	**16,3**

Tabla 10. Distribución en el tiempo de la Temperatura media insular (ºC)

VI.2.6. El gradiente termométrico

El gradiente en altura no es uniforme dada la influencia del estacionamiento del mar de nubes, sobre todo en la vertiente norte de la isla.

- En el Valle de La Orotava entre la costa y los 800 m de altitud la temperatura disminuye a razón de **1ºC / 100 m** de altura
- A partir de los 800 m el gradiente se reduce a **0,2ºC / 100m**

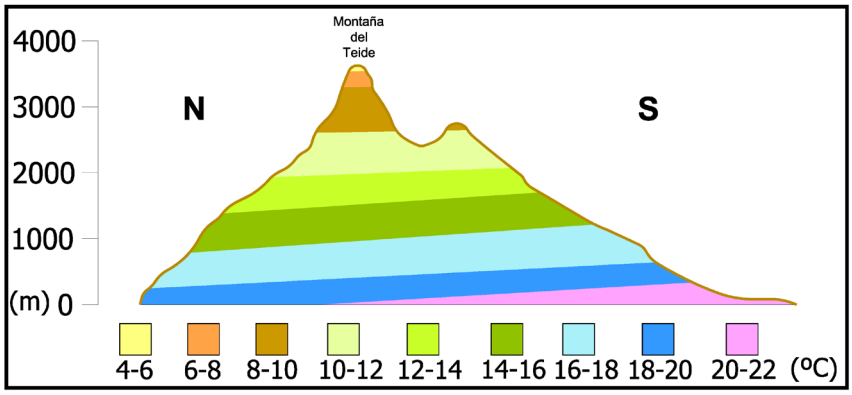


Figura 41. Distribución de la Temperatura de costa a cumbre

El ligero descenso que parece observarse en las precipitaciones y el ascenso de las temperaturas no son sino indicadores locales del Cambio Climático que afecta a nuestro planeta.

VI.3. LA HUMEDAD RELATIVA

VI.3.1. Conceptos

La humedad relativa (HR) expresa el grado de saturación del aire como el cociente entre la cantidad de agua que el aire realmente contiene a una determinada temperatura y la cantidad que podría contener si estuviera saturado a la misma temperatura[8].

La HR es un factor que interviene, directa o indirectamente, en la evaluación de dos de las variables hidrológicas que conforman el BHI: la Precipitación de Agua de Niebla (PAN) y la Evapotranspiración (ET):

- ✓ Se ha comprobado que la presencia de niebla en un lugar se asocia a estados de humedad relativa superiores al 95%[9] (Valladares, 1995; Marzol, 2005).
- ✓ A mayor contenido de humedad en el aire menor será la demanda evapotranspirante; y al contrario, cuanto más seco esté el aire mayor será la evaporación.

[8] EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos – ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56 – FAO

[9] El análisis detallado de las bandas registradoras de esta variable en las estaciones históricas demuestra que la situación de humedad relativa de 95% e incluso de 96% es, la mayoría de las veces, testimonial (apenas unos minutos); sólo cuando la HR alcanza, al menos, el 97% existe cierta garantía de que la situación de HR > 95% ha sido duradera. Sucesivos tanteos al respecto, confirmaron que aumentando el umbral en una unidad (HR > 96%) se obtenía una aceptable aproximación a lo pretendido.

VI.3.2. Evolución de la red de control de humedad relativa

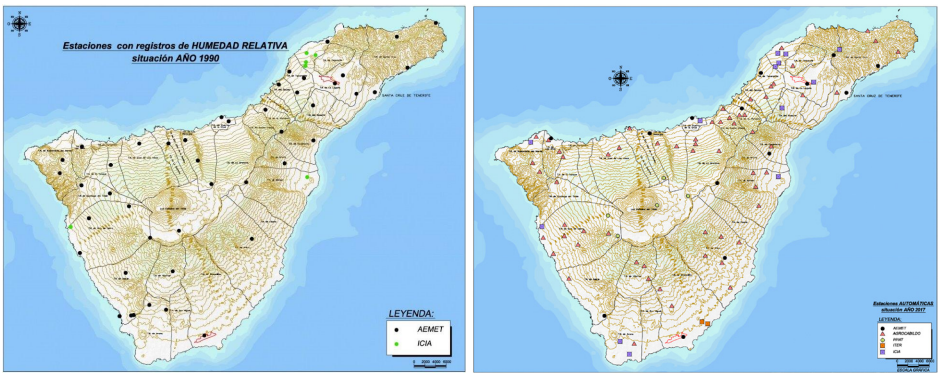


Figura 42. Estaciones con registro de Humedad Relativa en los años 1990 y 2017

En Tenerife se dispone de la información histórica aportada por una red de higrómetros que, instalada a mediados de los años ochenta, ha venido densificándose hasta sumar más de 100 estaciones de medida (una estación por cada 20 km^2), relativamente bien repartidas de mar a cumbre.

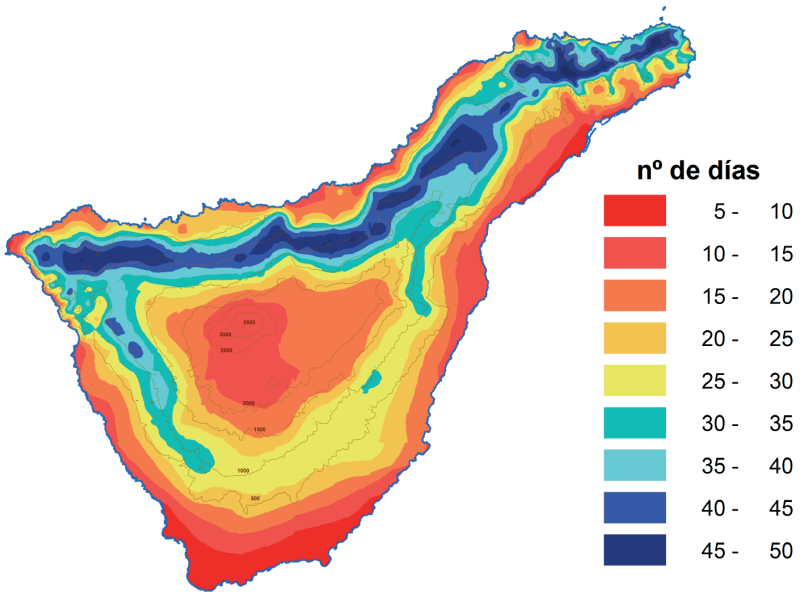


Figura 43. Distribución territorial del número de días en los que la HR supera el 96%

La presencia cuasi continua del mar de nubes condiciona los registros insulares de humedad; sobre todo en las medianías de las laderas septentrionales. En esta vertiente:

- ✓ Entre los 600m y los 900m de altitud, durante cerca de 300 días al año se registran humedades relativas que superan el **96**%.
- ✓ El período se reduce a unos 75 días/año en las zonas costeras más alejadas de la cumbre.
- ✓ Por encima, en la estación de Izaña, ubicada a la cota de 2.364 metros, la cifra es también similar: 75 días/año.

En la vertiente meridional:

- ✓ La franja de terreno más afectada por la humedad se extiende entre los 700 y los 1000 metros de altura en la que durante alrededor de 200 días al año se registran humedades relativas superiores al **96**%.
- ✓ Por encima, los días que superan el **96**% de humedad disminuye con la altura, reduciéndose a unos 75 días/año hacia la cota 2.000.
- ✓ En las proximidades de la costa del vértice sur apenas 10 días al año superan el **96**% de humedad relativa.

VI.4. LA VELOCIDAD DEL VIENTO

VI.4.1. Conceptos

El viento, con sus componentes de dirección y velocidad, también se significa a la hora de evaluar la ET y la PAN. Por un lado, favorece la evaporación, con lo que parte del recurso precipitación –vertical y horizontal– es devuelto a la atmósfera sin posibilidad de aprovechamiento; pero por otra parte, también está demostrado que el viento es un excelente aliado del mar de nubes para la captación de agua de niebla y posterior generación de lluvia horizontal.

VI.4.2. La red de control de velocidad del viento

Hasta hace un par de décadas no se contaba sino con una decena de estaciones; en la actualidad, hay repartidos por toda la isla más de 75 anemómetros. Al estar la topografía muy ligada a esta variable, para su definición no ha bastado con la información aportada por la red de medición local; el apoyo de la Cartografía Eólica de Canarias, elaborada por el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) ha sido fundamental. Dicha cartografía[10] ofrece estimaciones para alturas sobre el terreno (m):

---

[10] *Para su elaboración se utilizó el sistema MesoMap(tm) de prospección del recurso eólico. El núcleo del sistema MesoMap(tm) es el MASS, un modelo de simulación de la dinámica atmosférica de última generación. La salida del modelo se acopla a un modelo de microescala de conservación de masa, WindMao, que tiene en cuenta los efectos locales de topografía y rugosidad del terreno a un paso de malla de 100 m. La metodología empleada se apoyó en:*
- Utilización de modelos numéricos basados en las ecuaciones de Navier-Stokes.
- Utilización de datos de relieve topográfico de cartografía proporcionada por GRAFCAN.
Los datos presentados derivan de una simulación numérica basada en un modelo físico-matemático de la atmósfera, alimentado con condiciones realistas sustentadas en mediciones obtenidas durante 15 años por una red global de sensores meteorológicos.
Información facilitada por Salvador Suárez García —Jefe del Departamento de Energías Renovables— ITC-Las Palmas de Gran Canaria.

40, 60 y 80 de, entre otras, la **media anual de velocidad de viento** (m/s), Rosa de los Vientos, …

VI.4.3. La altura de medición de la velocidad del viento

En el proceso de captación de agua de niebla debe coincidir con la del centro de gravedad de las copas de los árboles, receptoras privilegiadas de la niebla. La altura acordada fue 10 metros sobre la superficie que, además, es la altura de medición meteorológica «oficial». Por otro lado, la evaluación de la evapotranspiración potencial (ETP) a partir del método aconsejado por la FAO (Penman-Monteith) contempla que la Vv se mida a 2 metros de altura. Las estaciones «oficiales» (AEMET) miden a 10 metros sobre el nivel del suelo; sin embargo, una buena parte de los registros de velocidad del viento se obtienen en estaciones agrometeorológicas, las cuales lo hacen a sólo 2 metros sobre la superficie.

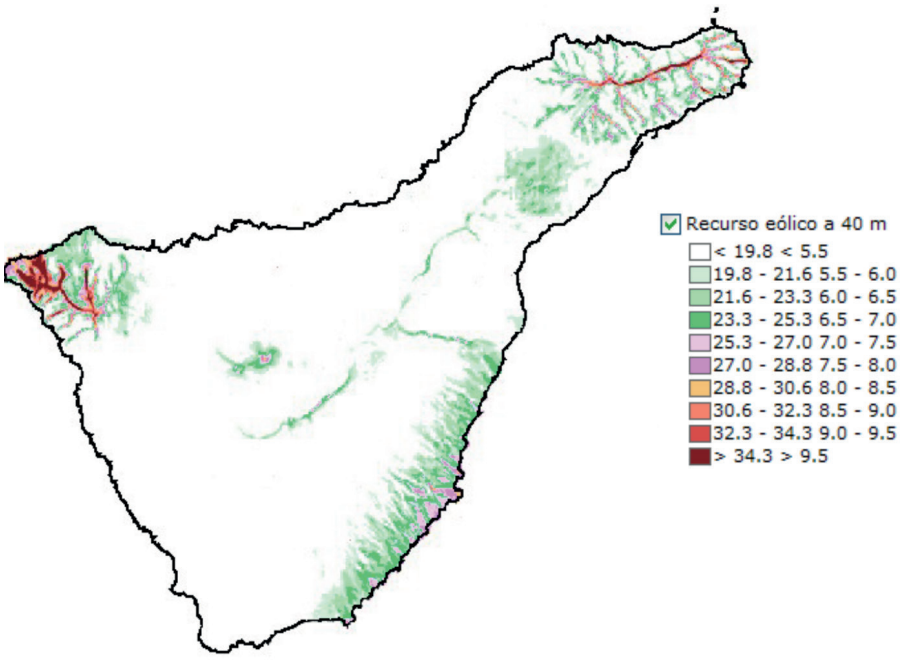


Figura 44. Velocidad media anual del viento (km/h y m/s) a 40 m de altura en la isla de Tenerife

VI.4.4. Relación entre la velocidad del viento y la altura topográfica

La FAO propone una función logarítmica para deducir el valor de la Vv a 2 metros de altura en las estaciones donde se registre a otras alturas:

$$\mathbf{U}_2 = \mathbf{U}_Z \times (4{,}87 / (\ln(67{,}8 \times \mathbf{Z} - 5{,}42)))$$

U_2 es la velocidad del viento a 2 metros sobre la superficie
U_Z es la velocidad del viento a Z metros sobre la superficie
Z es la altura de medición sobre la superficie

VI.4.5. Distribución territorial de la velocidad del viento

Adoptando el patrón de distribución de velocidades del mapa del ITC y complementando la red de registros existente con las estaciones «virtuales» precisas, el MHSup permite obtener mapas de la velocidad media anual del viento.

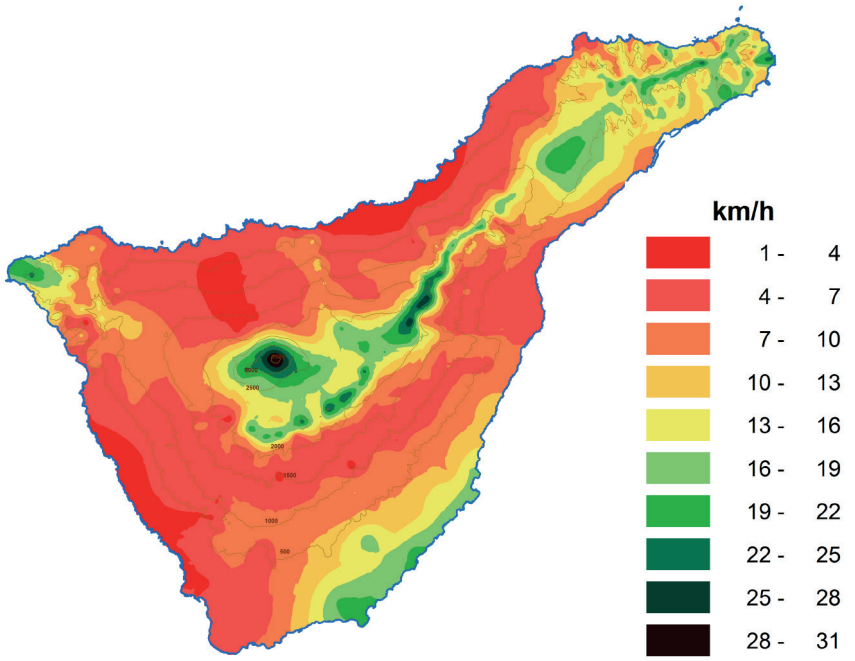


Figura 45. Velocidad media anual del viento (km/h) a 2 m de altura en la isla de Tenerife

En general, las mayores velocidades de viento se miden en las zonas de cresta de las cordilleras, muy especialmente en la dorsal Este, donde la velocidad media alcanza valores superiores a los 20 km/h. Además, en determinados lugares fuera del entorno de las cumbres también se miden velocidades muy altas:

- ✓ En el vértice costero de la comarca de **Teno** la temporada de velocidad de viento media más alta se extiende de mayo a septiembre, llegando a superarse en el mes de julio los **30** km/h.
- ✓ En la **costa de Arico-Granadilla** son los meses de julio y agosto los que reciben los vientos más intensos.
- ✓ En la altiplanicie de **Los Rodeos** los meses de junio, julio y agosto destacan sobre el resto.
- ✓ En la punta más meridional de **Anaga** también son frecuentes las velocidades de viento altas.

En el procedimiento de evaluación de la captación de agua de niebla, además de fijar la altura de referencia en 10 metros, los datos de Vv deben limitarse a aquellos días en los que se haya constatado la existencia de niebla. Se ha definido pues la velocidad del viento en los días húmedos, la cual supera entre un 10% y un 20% a la velocidad media del viento, en general.

VI.5. LA INSOLACIÓN

VI.5.1. Introducción

Contribuye también al proceso evapotranspirante por lo que cabe hacer comentarios similares a los hechos respecto de la temperatura y de la advección.

La presencia del «mar de nubes» limita sobremanera la insolación del territorio que queda bajo su influencia, llegando a dejar sin el alcance directo de los rayos solares durante bastantes días al año a las franjas centrales de medianía e, incluso, a las de costa, tanto por el Norte como por el Sur de la isla. Por contra, el paraje de Las Cañadas del Teide, libre de la afección del manto de nubes, dispone de un gran número de horas de insolación anual que destaca sobre el que cuenta, no sólo el resto del suelo insular, sino todo el territorio español.

VI.5.2. Estaciones con medidas de insolación.

En Tenerife se cuenta con 24 aparatos. La mayoría de ellas se instalaron entre 1.986, 1.987 y 1.988. El 90% se sitúan sobre la banda costera.

VI.6. LA RADIACIÓN SOLAR

VI.6.1. Conceptos

Según el Manual de la Fao - 2006[11]

La radiación solar recibida en la parte superior de la atmósfera terrestre sobre una superficie horizontal se conoce como radiación (solar) extraterrestre, Ra …Cuando la radiación atraviesa la atmósfera para llegar a la superficie terrestre, parte de ella se dispersa, refleja o absorbe por los gases, las nubes y el polvo atmosférico … La cantidad de radiación que llega a un plano horizontal en la superficie terrestre se conoce como ***radiación solar****, Rs*

E. Custodio y R. Llamas[12] apuntan que:

Para un mismo lugar, la radiación global (radiación directa + radiación difusa) procedente del Sol, varía con la estación del año, con la inclinación y orientación de la superficie receptora y con la hora del día, por influir todos estos factores en el ángulo de incidencia del rayo solar. Al variar el lugar, es la latitud el factor que predomina sobre la radiación solar recibida.

[11] EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos – ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56

[12] HIDROGEOLOGÍA SUBTERRÁNEA – Emilio Custodio y Manuel Ramón Llamas - 1976

VI.6.2. La red de control de la Radiación Solar

La Radiación solar es la fuente de energía más eficaz para evaporar agua de la superficie terrestre. Sus registros son pues de obligada presencia en las fórmulas más acreditadas para el cálculo de la ETP, entre ellas la que, recomendada por la FAO (fórmula de Penman-Monteith), evalúa previamente la denominada Evapotranspiración de Referencia (ETo). En la isla se dispone de más de 80 puntos de registro de Radiación.

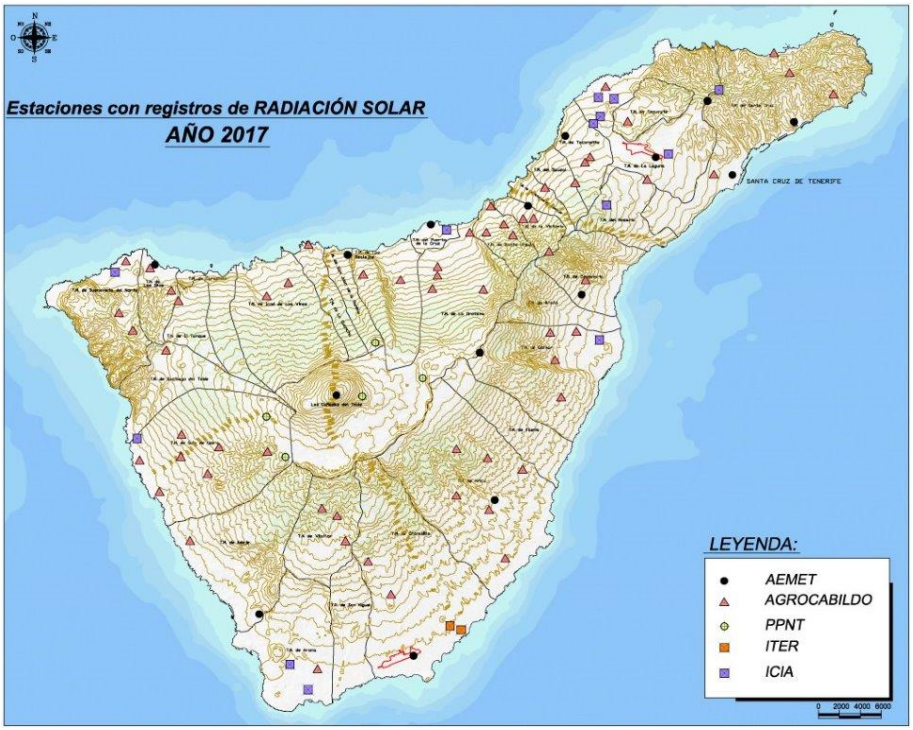


Figura 46. Estaciones de control meteorológico con registros de Radiación Solar

VI.6.3. Distribución territorial de la Radiación solar

A partir de los datos aportados por las estaciones «reales» disponibles y de los deducidos en un buen número de estaciones «virtuales» -para cubrir lagunas territoriales de disponibilidad de estaciones con registros de esta variable climatológica- el Visualizador de Resultados del MHSup ofrece el siguiente mapa, relativo a la distribución territorial de la Radiación solar.

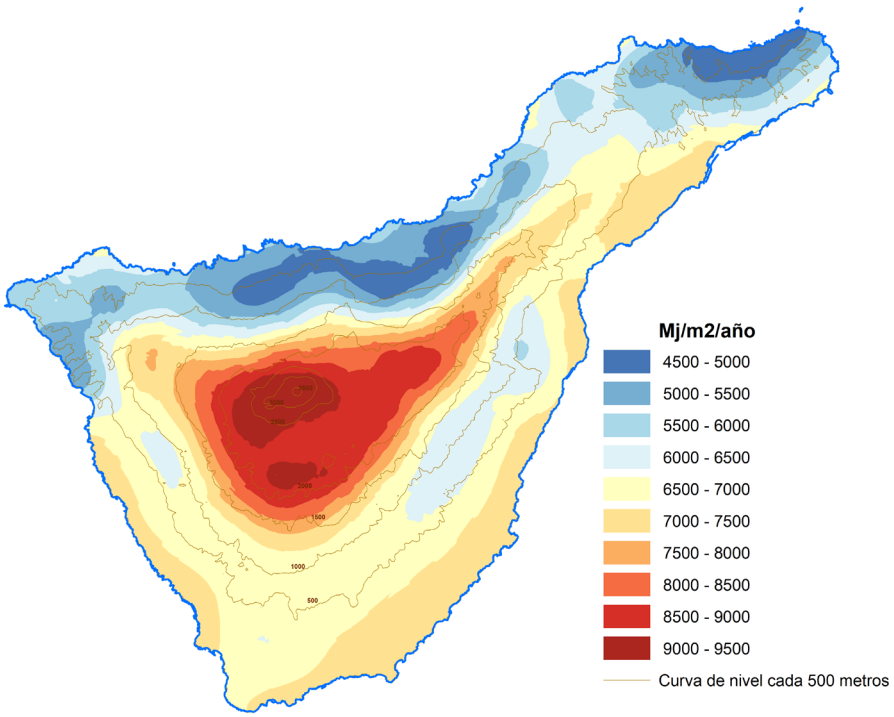


Figura 47. Distribución territorial de la Radiación Solar media

La zona preferente de asentamiento del denominado «mar de nubes», sobre todo en la vertiente septentrional –entre 900m y 1.500m de cota–, hace de bisagra entre los «soles» y las «sombras». Por encima, en la Montaña del Teide y en la gran Caldera que le rodea, los valores de la Radiación solar casi doblan a los que por debajo se miden en los valles de La Orotava y de Icod; muy similares éstos a los que corresponden a la cara norte del macizo de Anaga.

Los valores que se registran en la vertiente meridional y el dibujo conjunto de las isolíneas de Radiación solar a que dan lugar, ponen de manifiesto la escasa comparencencia, en esta zona, del «mar de nubes» que generan los vientos alísios cuando, procedentes del norte, alcanzan la isla.

CAPÍTULO VII
EL BALANCE HÍDRICO

VII.1. CONCEPTOS

Establecer el balance hídrico en una determinada región –en nuestro caso la isla de Tenerife– es aplicar en ella el principio de conservación de masas o, su equivalente, la ecuación de continuidad; entendiendo por tal la que deduce la variación de agua almacenada por diferencia entre las entradas y las salidas durante un determinado período de tiempo en esa región.

Cuando el balance se establece en superficie –balance hídrico superficial (BHS)– las entradas se limitan a las precipitaciones –de cualquier tipo– y las salidas se reparten en tres conceptos: la evapotranspiración, la escorrentía superficial que alcanza el mar y el agua infiltrada en el subsuelo que alimenta los acuíferos. El exceso o el déficit de almacenamiento lo asumen, por un lado, la franja de suelo edáfico, y por otro, las balsas y presas de embalse.

El BHS aplicable a la isla de Tenerife –**Balance Hídrico Insular** (BHI)– tendría la siguiente composición:

$$\mathbf{PC + PAN - (ETR + E + I) = VR + EA}$$

Donde:

PC: La Precipitación Convencional, Directa o Vertical + la Nieve.

PAN: La Precipitación de Agua de Niebla, Indirecta u Horizontal.

ETR: La Evapotranspiración Real.

E: La Escorrentía Superficial.

I: La Infiltración efectiva o Recarga.

EA: La Escorrentía líquida almacenada en las balsas y presas.

VR: La Variación de las Reservas de agua en el suelo.

Cuando también se toman en consideración los aportes de agua subterránea a los ríos o cauces de barrancos se está ante el **balance hídrico general**. No es el caso de Tenerife, pues la distancia existente entre la superficie del terreno y el techo del acuífero profundo impide que, de forma natural, se generen descargas de aguas basales al exterior. En cuanto a los aportes de los acuíferos colgados, además de su escasa representación cuantitativa, por lo general son captados en su lugar de origen para su aprovechamiento, por lo que apenas participa de ellos alguno de los elementos del balance.

VII.2. EL BALANCE HÍDRICO INSULAR DE SUPERFICIE

VII.2.1. Planteamiento

La valoración de cualquiera de los términos del BHI arrastra necesariamente errores de cálculo, por lo que lo normal es complementar la ecuación precedente con un «error de cierre». La cuestión es minimizar ese «error», tomando las debidas precauciones a la hora de evaluar cada término del balance.

Sabemos que las aguas subterráneas extraídas del multiacuífero insular son las que proporcionan alrededor del 80% de la oferta hídrica y que la infiltración efectiva o recarga de agua de lluvia es la entrada principal a dicho multiacuífero[13]. La evaluación de esta variable hidrológica se hace a partir de la estimación directa o empírica de los demás elementos del BHI. Se opera pues con la siguiente ecuación general:

$$\mathbf{I = PC + PAN - ETR - E - VR - EA}$$

Lógicamente, el valor de I, deducido de la ecuación precedente, será tanto más fiable cuanto más lo sean los valores de los elementos que conforman el segundo término de dicha ecuación.

VII.2.2. La construcción del BHI en el tiempo

En los primeros BHI sólo se evaluaba la PC; el resto de los elementos se estimaban a partir de la experiencia e intuición de sus autores. Es a partir del Proyecto Canarias SPA-15 cuando se hace el «balance en el suelo» adoptando el mes como período operativo. La Evapotranspiración Potencial (ETP) se evaluó con la fórmula de Thornthwaite; el valor de la Escorrentía en Tenerife se estimó por extrapolación del deducido en Gran Canaria.

Después del Proyecto SPA-15 se fueron adoptando medidas tendentes a resolver las singularidades de la hidrología de esta isla; medidas que afectaron, lógicamente, a algunos términos del BHI:

1. El primer paso fue reconsiderar la evaluación de **la escorrentía superficial**; muy sobrevalorada en los BHI iniciales.
2. El balance en el suelo se estableció a escala **diaria**, pues el lapso mensual –de común aplicación en los balances continentales– sobrevaloraba la evapotranspiración en los suelos más permeables y con menor cubierta vegetal.
3. La no contabilización de las pérdidas por infiltración en los cauces redundaba en sobrevaloraciones de la E y minusvaloraciones de la I. En el proceso operativo se introdujo el concepto **infiltración en cauces,** cuya existencia sólo se insinúa en alguno de los primeros BHI.

[13] Los valores mensuales de la I que se deducen en el MHSup son la entrada principal al Modelo de Flujo Subterráneo (MFS) que dispone el CIATF para controlar el multiacuífero insular.

4. La incipiente automatización del proceso de cálculo del BHI culminó con la construcción, a instancias del CIATF, de un **modelo matemático** que simulaba la hidrología superficial en la isla a partir de su representación en una malla conformada por celdas de 1000m x 1000m.

5. Se hizo una valoración aproximada de la **Lluvia Horizontal** o Precipitación de Agua de Niebla (PAN), haciéndola partícipe **indirecta** del BHI.

6. A falta de estaciones totales que posibilitaran el cálculo de la ETP mediante fórmulas acreditadas, se corrigieron los valores que se deducían con la de Thornthwaite, para hacerlos equivalentes a los que se obtenían con aquellas.

7. Los microclimas, la densa red de cauces, la concreta localización de la lluvia horizontal, …, indujeron a cambiar la retícula de 1.000m x 1.000m de la primera versión del MHSup por la de **200**m x **200**m actual.

8. Desde el CIATF se encargó al Departamento de Edafología y Geología de la ULL la Cartografía Edáfica de la isla de Tenerife. Las 182 zonas de muestreo aportaron los datos necesarios para elaborar los mapas de la **Tasa de Infiltración Básica** (TIB) y de la **Capacidad Máxima de Retención de Agua en el Suelo** (RX).

9. Se elaboró una metodología para evaluar la **PAN** de modo que ésta fuera partícipe directa del «balance en el suelo». La consiguiente mayor oferta hídrica redundó en el incremento del valor de alguna de las magnitudes hidrológicas, sobre todo de la ETR, pero también de la I.

10. Con la implantación de nuevas redes meteorológicas, dotadas de estaciones completas, la ETP se calcula ya aplicando los métodos aconsejados por la FAO.

11. Desde hace varias décadas se viene procediendo a mejorar la información meteorológica disponible, corrigiendo errores, desagregando valores, recuperando datos, alargando las series de registros disponibles e incrementando el número de estaciones especialmente en las zonas de cumbres, …

Se han hecho pues, y se seguirán haciendo, los esfuerzos necesarios para acercar cada vez más a los valores reales los calculados para cada una de las variables hidrológicas; sin que ello signifique que hayan dejado de tener la consideración de «órdenes de magnitud».

VII.2.3. Representatividad

Se tiene acordado que en meteorología la representatividad del valor de una variable debe contar con al menos 30 años de registros. Pues bien, en el caso concreto de Tenerife y en función de la extensión de las series históricas utilizables –71 años– pueden establecerse distintos balances, todos ellos relativos a períodos de

30 años, en los que los valores deducidos para cada variable son muy dispares unos a otros; y ello debido fundamentalmente a la irregularidad de las precipitaciones. En la tabla adjunta, el contraste entre el BHI deducido para el período de los 30 años primeros de la serie (1944/45-1973/74) y el de los últimos 30 años (1985/86-2014/15), es suficientemente elocuente[14].

BHI MEDIO		1944/45 - 1973/74			1985/86 - 2014/15		
Ref	MAGNITUD HIDROLÓGICA	mm/año	hm3/año	%	mm/año	hm3/año	%
PC	Precipitación Convencional	471	958	90	377	767	89
PAN	Precipitación Horizontal	50	102	10	46	94	11
PT	Precipitación total	**521**	**1060**	100	**423**	**860**	100
EVT	Evapotranspiración	274	558	53	270	549	64
ES	Escorrentía	**15**	**31**	3	**8**	**16**	2
I	Infiltración	**231**	**470**	44	**145**	**295**	34
VR	Δ de reservas en el suelo	0	0	0	0	0	0
DE	Derivado a embalses	2	4	0,4	0,6	1	0,1

Tabla 11. Contraste entre el BHI «inicial» del MHSup y el último «actual»

No sólo la irregularidad de las precipitaciones es el motivo de las señaladas discordancias; otros factores han sido también la causa de que en décadas pasadas se hayan propuesto alternativas diversas de balances hidrológicos. Tal como hemos expuesto en el apartado precedente, la propia metodología de cálculo se ha adaptado a la realidad hidrológica insular, muy diferente a la aplicable a las cuencas continentales. Además, conforme se han hecho más extensas las series, se han ido aproximando a su valor real los distintos términos del BHI.

VII.2.4. Balance «histórico» y balance «actual»

Entendemos por balances «históricos» todos aquellos definidos a partir las series de registros disponibles de más larga extensión; el último sería el relativo al período 1944/45-2014/15, pues es a partir del año 1944 cuando se dispone de información meteorológica suficiente para construir un BHI.

Los BHI «actuales», serían los obtenidos con las series relativas a los 30 años precedentes a la fecha de los últimos datos disponibles. A nuestros efectos el último sería el del período 1985/86-2014/15.

[14] La década de los años cincuenta fue especialmente lluviosa en el Archipiélago, superándose esos años en Tenerife la media histórica. Por esta razón, en el BHI de los 30 primeros años (1944/45-1973/74) se deducen valores de las variables hidrológicas muy distintos a los que se obtienen a partir del balance del período de los últimos 30 años (1985/86-2014/15). En el período inicial (1944/45-1973/74) la PT (PC + PAN) superó en 98 L/m^2 (200 hm^3/año) a la que se deduce del período más reciente (1985/86-2014/15); circunstancia ésta que acusan las distintas magnitudes hidrológicas, especialmente la recarga o infiltración: 206 L/m^2 (40% s/PT) frente a 140 L/m^2 (33% s/PT); es decir, los 200 hm^3/año menos de lluvia que recibió la isla este último período respecto del inicial han tenido como consecuencia una pérdida media de recarga para el sistema acuífero insular de 134 hm^3/año (67% s/ΔPT).

VII.3. EL BALANCE HÍDRICO INSULAR MEDIO «HISTÓRICO»

A partir del tratamiento estadístico en el MHSup de los datos históricos de las variables climáticas correspondientes al período **1944/1945 – 2014/2015**, se ha deducido que la precipitación insular durante dicho período se reparte entre las variables hidrológicas que conforman el BHI según se refleja en la tabla adjunta.

BALANCE HÍDRICO INSULAR "HISTÓRICO" MEDIO (1944/45-2014/15)				
Ref	**MAGNITUD HIDROLÓGICA**	**mm/año**	**hm3/año**	**%**
PC	Precipitación Convencional	423	861	90
PN	Precipitación Horizontal	48	98	10
PT	Precipitación Total	**471**	**958**	100
EVT	Evapotranspiración	**287**	**584**	61
ES	Escorrentía	**11**	**22**	2
I	Infiltración	**172**	**350**	37
VR	Variación reservas suelo	0	0	0
DE	Derivado a embalses	**1**	**2**	0,2

Tabla 12. Balance Hídrico Insular Medio «Histórico»

VII.4. EL BALANCE HÍDRICO INSULAR MEDIO «ACTUAL»

La dependencia de los recursos superficiales terrestres de los fenómenos meteorológicos es un obstáculo a la hora de establecer equivalencias entre el estado de situación actual con situaciones relativas a espacios temporales cortos y cercanos. Un determinado año hidrológico, especialmente húmedo, puede dar lugar a unas disponibilidades de recursos hídricos muy abundantes o viceversa; estas situaciones serán representativas de ese año en concreto o incluso del estado actual en su concepto más estricto, pero no puede ser extrapolable a una actualidad de ámbito más amplio, como el que se pretende.

El período 1944/45-2014/15 es excesivamente largo para considerarlo representativo del estado de situación «actual». El BHI del período 1985/86-2014/15 reúne los requisitos para poder ser adjetivado de «actual»; lo avalan su relativa cercanía en el tiempo y la «representatividad» que le otorga la serie de 30 años del período de referencia. Además, en casi todo ese ciclo se ha contado con un aceptable número de estaciones con registros de cada una de las variables meteorológicas que intervienen en el proceso de cálculo del BHI.

BALANCE HÍDRICO INSULAR "ACTUAL" MEDIO (1985/86-2014/15)				
Ref	**MAGNITUD HIDROLÓGICA**	**mm/año**	**hm3/año**	**%**
PC	Precipitación Convencional	377	767	89
PN	Precipitación Horizontal	46	94	11
PT	Precipitación Total	**423**	**860**	100
EVT	Evapotranspiración	**270**	**549**	64
ES	Escorrentía	**8**	**16**	2
I	Infiltración	**145**	**295**	34
VR	Variación reservas suelo	0	0	0
DE	Derivado a embalses	**0,6**	**1,2**	0,1

Tabla 13. Balance Hídrico Insular Medio «Actual»

VII.5. DE LOS VALORES DE LOS ELEMENTOS DEL BHI

Este mismo BHI, que ahora distinguimos como «actual», ya lo habíamos mostrado un par de apartados precedentes –el que denominábamos BHI «último»– junto con el BHI «inicial» a efectos de contraste. Un tercer BHI, el «histórico», nos da ocasión para hacer nuevas comparaciones.

Los valores de la PC en cada uno de los tres períodos considerados no son ni siquiera parecidos; existiendo entre los dos más extremos una diferencia del 20%:

1944/45 – 1973/74: **473** mm

1944/45 – 2014/15: **423** mm

1985/86 – 2014/15: **376** mm

Lógicamente, las variables hidrológicas del BHI que se reparten este recurso acusan diferencias similares.

Debe tenerse pues muy presente que las cifras que se aportan en los BHI no son sino órdenes de magnitud y que, en todo caso, tales valores medios deben venir etiquetados con el período que contemplan.

De cualquier forma, estimamos que los valores más representativos de las variables hidrológicas siempre los aportará el último BHI «**histórico**»., al menos en esta isla.

CAPÍTULO VIII
LOS BALANCES HÍDRICOS «HISTÓRICOS» EN LA ISLA

VIII.1. COMENTARIOS PREVIOS

La definición de los BHI ha obedecido, en muchas ocasiones, a la necesidad de evaluar la Infiltración efectiva o agua de Recarga que alimenta al «multiacuífero» insular. La dispersión de valores que, respecto de esta variable hidrológica, se han venido proporcionando hasta hace un par de décadas pretendemos esclarecerla y justificarla a partir del análisis cronológico de varios de los BHI construidos hasta ahora; desde los más antiguos, de confección «manual», a los más recientes, deducidos a partir de la «modelización» del ciclo hidrológico en el MHSup.

VIII.2. RELACIÓN Y CONTRASTE EN EL TIEMPO DE LOS «BHI»

El proceso de construcción no fue similar para todos. Cada uno de ellos contempla períodos de cálculo distintos, tanto respecto de su localización en el tiempo como de su extensión; por tanto, no pueden extraerse conclusiones con fundamento si en la comparación no se hacen estas matizaciones.

Por otro lado, desde la fecha del primer BHI del que tenemos noticia (1960) hasta el momento actual, su elaboración ha venido asumiendo una serie de incidencias –enumeradas en el capítulo anterior– que, afectando a la metodología y/o a la formulación, han influido en los resultados[15]; tanto o más que la extensión o la época de cálculo del BHI en cuestión. Las diferencias son especialmente acusadas si se compara el grupo de los más antiguos con el de los que se han construido a partir de la puesta en uso del MHSup.

Varios de los BHI que vamos a referenciar formaron parte de Estudios o Proyectos de gran trascendencia –hidrológica y/o hidráulica– para la isla; merecían pues que se les reservara algún capítulo de este libro (XIV) donde dejaran constancia de los pasos dados, en la hidrología local, en los últimos 100 años. En sus respectivos apartados de referencia se incluye el BHI, si es que consta, para comentarlo y analizarlo. En este capítulo nos limitamos a enunciar cronológicamente a todos o a casi todos ellos –alguno se nos quedará– y hacer contrastes en el tiempo. Se han distinguido los que se construyeron de forma tradicional, es decir «manualmente», de los deducidos a partir del MHSup; distinguiendo también los que hemos denominado «históricos« de los «actuales».

[15] El contraste se limita a las cinco variables hidrometeorológicas fundamentales: PC, PAN, ETR, ES e I Prescindimos de los elementos Variación de las Reservas en el Suelo y del agua Derivada a Embalses dado que su evaluación sólo ha tenido lugar en los BHI más recientes.

VIII.2.1. Los BHI históricos «manuales»

En orden cronológico hemos encontrado los siguientes:

- PLAN DE OBRAS HIDRÁULICAS DE LA ISLA DE TENERIFE - Juan Amigó de Lara y Juan La Roche Izquierdo – 1960. (**POHT**)
- INSTITUTO DE ESTUDIOS CANARIOS – Los alumbramientos de agua en Tenerife - Joaquín Amigó de Lara – 1960. (**IEC)**
- CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS – 1965. (**CEH**)
- PROYECTO CANARIAS SPA-15 – 1975. (**SPA-15**)
- SERVICIO GEOLÓGICO del MOPU. El Agua en Canarias - Carlos Soler Liceras y Octavio Lozano García – 1985. (**MOPU**)
- GOBIERNO DE CANARIAS y MOPU - El Agua en Canarias (Campaña Educativa sobre el Agua) - Adolfo de Hoyos-Limón Gil, Luis O. Puga Miguel y Juan José Braojos Ruiz – 1987. (**GobCan-MOPU**)
- AVANCE del PLAN HIDROLÓGICO INSULAR - Luis O. Puga Miguel y Juan José Braojos Ruiz – 1990. (**Avance PHI**)
- PLAN HIDROLÓGICO INSULAR – J. José Braojos Ruiz -1995. (**PHI**)

VIII.2.2. Los BHI históricos del «MHSup»

- I CURSO DE HIDROLOGÍA DE CANARIAS – 1999. (**Curso HS**)
- JORNADAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO y CONGRESO DE INGENIERIA CIVIL; TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE (Zaragoza) – 2005 y 2006. (**Jornadas CC**)
- JORNADAS DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL–2009. (**Jornadas HS**)
- PLAN HIDROLÓGICO DE TENERIFE – 2012. (**PHT**)
- Actualización del MHSup – 2013. (**Act MHSup**)
- Actualización del PHT – 2016. (**Act PHT**)
- Revisión del Modelo de Hidrología de Superficie – 2019. (**Revi MHS - CIATF**)

VIII.2.3. Los BHI actuales del MHSup

Los cinco últimos BHI históricos se acompañaron con otros cinco BHI «actuales» cuyos períodos de análisis finalizaban el mismo año que lo hacía el de aquellos y se iniciaba en el correspondiente a 30 años antes.

En las dos tablas adjuntas se hace el listado de los 15 BHI en orden cronológico y separados según los tres grupos de referencia a su vez, subdivididos en dos grupos: BHI históricos y BHI actuales. En la primera tabla los valores de las variables se ofrecen en L/m^2/año y en la segunda en Hm^3/año.

Año	Período	FUENTE	PC	PAN	PT	ETR	%	ES	%	I	%
BALANCES «HISTÓRICOS» CONSTRUIDOS MANUALMENTE											
1960	1949-1958	POHT	445		445	242	54	57	13	146	33
1960	1940/41-1965/66	IEC	461		461	185	40	116	25	160	35
1965	1949/50-1963/64	CEH	463		463	300	65	60	13	103	22
1972	1940/41-1965/66	SPA-15	432		432	252	58	65	15	117	27
1985		MOPU	450		450	258	57	65	15	127	25
1987		GC-MOPU	450		450	293	65	22	5	135	30
1990		Avance PHI	430		430	293	68	7	2	130	30
1995		PHI	425		425	298	70	10	2	117	28
	MEDIAS		**445**		445	265	60	50	11	130	29
BALANCES «HISTÓRICOS» OBTENIDOS DEL MHSup											
1999	1944/45-1997/98	Curso HS	420	(1)	420	233	56	11	2	176	42
2005	1944-2004	Jornadas CC	419	(1)	419	231	55	10	2	178	43
2009	1944/45-2005/06	Jornadas HS	424	41	**465**	273	59	5	1	187	40
2011	1944/45-2009/10	PHT	420	44	**464**	273	59	10	2	180	39
2013	1944/45-2011/12	Act PHT	417	44	**461**	273	59	10	2	178	39
2016	1944/45-2014/15	Act PHT	419	44	**463**	273	59	10	2	179	39
2019	1944/45-2014/15	Revi. MHS	423	48	**471**	287	61	11	2	172	37
	MEDIAS		**420**	**44**	**464**	276	59	9	2	179	39
BALANCES «ACTUALES» OBTENIDOS DEL MHSup											
2009	1976/77-2005/06	Jornadas HS	385	43	**428**	264	62	8	2	156	36
2011	1980/81-2009/10	PHT	370	42	**412**	260	63	7	2	145	35
2013	1982/83-2011/12	Act PHT	363	41	**404**	256	63	6	2	142	35
2016	1985/86-2014/15	Act PHT	374	42	**416**	260	62	7	2	149	36
2019	1985/86-2014/15	Revi. MHS	377	46	**422**	270	64	8	2	145	34
	MEDIAS		**374**	**43**	**416**	263	63	7	2	146	35

Tabla 14. Relación cronológica de los BHI históricos y actuales (**L/m²/año**).

(1) La PAN se evaluó indirectamente. Los BHI de 1999 y 2005 no se consideran al hacer las medias. El BHI lo cierra el agua captada y/o derivada a embalses no contemplada en la tabla.

Año	Período	FUENTE	PC	PAN	PT	ETR	%	ES	%	I	%
BALANCES «HISTÓRICOS» CONSTRUIDOS MANUALMENTE											
1960	1949-1958	POHT	906		906	493	54	116	13	297	33
1960	1940/41-1965/66	IEC	948		948	381	40	239	25	328	35
1965	1949/50-1963/64	CEH	953		953	617	65	125	13	211	22
1972	1940/41-1965/66	SPA-15	889		889	519	58	132	15	239	27
1985		MOPU	926		926	531	57	133	15	262	25
1987		GC-MOPU	926		926	603	65	45	5	278	30
1990		Avan PHI	885		885	611	68	12	2	262	30
1995		PHI	865		865	606	70	20	2	239	28
	MEDIAS		912		912	493	60	50	11	265	29
BALANCES «HISTÓRICOS» OBTENIDOS DEL MHSup											
1999	1944/45-1997/98	Curso HS	865	(1)		480	56	22	2	363	42
2005	1944-2004	Jorna CC	853	(1)		470	55	21	2	362	43
2009	1944/45-2005/06	Jorna HS	860	84	944	555	59	9	1	379	40
2011	1944/45-2009/10	PHT	855	89	944	556	59	20	2	366	39
2013	1944/45-2011/12	Act PHT	848	90	939	556	59	20	2	362	39
2016	1944/45-2014/15	Act PHT	852	91	943	556	59	20	2	364	39
2019	1944/45-2014/15	Revi. MHS	860	98	957	583	61	23	2	350	37
	MEDIAS		854	89	943	562	59	18	2	362	39
BALANCES «ACTUALES» OBTENIDOS DEL MHSup											
2009	1976/77-2005/06	Jorna HS	782	87	869	536	62	16	2	317	36
2011	1980/81-2009/10	PHT	753	86	839	529	63	14	2	295	35
2013	1982/83-2011/12	Act PHT	739	83	822	521	63	12	2	289	35
2016	1985/86-2014/15	Act PHT	760	85	845	529	62	13	2	302	36
2019	1985/86-2014/15	Revi. MHS	766	93	859	535	64	15	2	294	34
	MEDIAS		760	87	847	535	63	14	2	298	35

Tabla 15. Relación cronológica de los BHI históricos y actuales (**Hm³/año**).

(1) La PAN se evaluó indirectamente. Los BHI de 1999 y 2005 no se consideran al hacer las medias. El BHI lo cierra el agua captada y/o derivada a embalses no contemplada en la tabla.

NOTAS: Sin más pretensión que la de establecer algún criterio para hacer análisis de contraste, en los tres grupos se han deducido las medias aritméticas de cada variable hidrológica, siendo conscientes de que sus valores no representan las medias reales de cada grupo. En los BHI de los años 1999 y 2005 se operó con la PAN de forma indirecta afectando al valor de la ETR. No se han considerado al hacer las «medias».

VIII.2.4. Análisis y contraste de los BHI «históricos»

Con respecto a la **PC**:

- ✓ Los altos valores medios anuales deducidos para la **PC** en los primeros BHI se deben a que dentro de sus relativos cortos períodos de estudio se encuentra la extremadamente húmeda década de los años cincuenta.
- ✓ Conforme el período de cálculo se prolonga, la media anual de la PC disminuye debido al menor el «peso» de dicha década dentro del conjunto de las series analizadas.

Con respecto a la **ETR**:

- ✓ La evaluación de la ETR se ha visto afectada por cinco circunstancias con resultados de distinto signo:
  - El descenso del valor medio de la PC que, lógicamente, ha redundado en la reducción del valor de las variables hidrológicas que conforman el BHI.
  - Por otro lado, la incorporación al procedimiento de cálculo de la **PAN** ha producido el efecto contrario.
  - La adopción del **día** en el «balance en el suelo» –en los primeros BHI se operaba con el mes– ha contribuido a disminuir los valores de la ETR.
  - A partir de 2007, el mejor conocimiento de la Capacidad de Retención de los suelos que proporcionó la cartografía edáfica, construida con 182 puntos de muestreo, frente a la media docena de referencias disponibles hasta entonces, dio lugar a variaciones apreciables en los valores de la ETR
  - La evaluación de la ETP por medio de la fórmula de Penman-Monteith (ET de Cultivo = ET de Referencia x Coef. de Cultivo) ha supuesto un incremento del valor de la ETR de un 4% aproximadamente.
- ✓ Entre los valores de la ETR en los balances históricos «manuales» y los del MHSup hay una diferencia a favor de estos últimos de 66 hm^3/año.

Con respecto a la **ES**:

- ✓ La sobrevaloración de los volúmenes medios de escorrentía en los primeros BHI respecto de los que se dedujeron con posterioridad tiene dos justificaciones principales, comunes a todos ellos:

- Que sus cortos períodos de cálculo contienen la mencionada década de los años cincuenta, de la que todavía se recuerdan las imágenes de barrancos «corriendo» de otoño a invierno año tras año.
- Sobre todo, la no consideración del fenómeno de **infiltración en cauces**.

✓ La incorporación de la PAN al proceso de cálculo del BHI no ha tenido consecuencias apreciables en la ES.

Con respecto a la **I**:

✓ La variable infiltración arroja un incremento de 98 hm^3/año en la media aritmética de los valores obtenidos en los BHI de finales del pasado siglo respecto de la de los precedentes (362 frente a 265 hm^3/año).

✓ Ese incremento cabe atribuírselo:
- al descenso del valor de la escorrentía.
- a la incorporación al proceso de cálculo del fenómeno de **infiltración en o sobre cauces.**
- a la participación de la PAN en la construcción de los BHI.

VIII.2.5. Análisis y contraste de los BHI «actuales»

Con respecto a la **PC**:

✓ Los valores medios de la PC en los BHI «actuales» son más bajos que los «históricos» debido a dos circunstancias:
- No forma parte de ellos la mencionada década de los años cincuenta.
- Desde hace años se viene detectando una tendencia descendente en la PC.

✓ La diferencia entre la media aritmética de la PT (PC+PAN) en los últimos BHI «históricos» y la que corresponde a los «actuales»» es de 96 hm^3/año que, porcentualmente, supone un descenso del 10%.

Con respecto a la **ETR**, la **ES** y la **I**:

De esos 96 hm^3/año:
- 26 hm^3/año los ha acusado la ETR.
- 5 hm^3/año la ES.
- El resto, 65 hm^3/año, es decir el 68% ha repercutido en la Recarga (I).

VIII.2.6. Comentarios finales

Una escasa información meteorológica y la carencia de experiencias y, por tanto, de conocimiento detallado de la hidrología insular, fueron las principales limitaciones que tuvieron que afrontar los autores de los primeros BHI. A esta etapa le siguió un período de adaptaciones y mejoras, enunciadas en el capítulo precedente, que se han ido encajando en el proceso de análisis de la hidrología local.

Tales incorporaciones no fueron sincrónicas, por lo que en algún momento pudieron dar lugar a alguna incoherencia. Ahora bien, a partir del año 1998, es decir durante los últimos 20 años, aunque el reparto territorial de alguna variable hidrológica haya cambiado –fruto de las mentadas incorporaciones– los BHI construidos desde el CIATF a partir del MHSup no acusan grandes incongruencias y en ningún caso los resultados de unos desdicen a los de sus predecesores.

Concretándonos a la **Infiltración** o agua de **Recarga**:

- ✓ En los BHI iniciales –hasta 1998– los valores de la I además de ofrecer cierta dispersión, estaban por debajo de los que, al menos a escala local, parecían deducirse en algunas cuencas representativas insulares.
- ✓ A partir de esa fecha –inicio de la modelización del ciclo hidrológico en la isla– el orden de magnitud de esta variable –muy superior al de la etapa anterior– parecía estabilizado. La incorporación de la ETP de Penman-Monteith ha supuesto un descenso del valor de la I de entre un 3% y un 4% respecto de los obtenidos en los BHI precedentes del MHSup.

VIII.3. LA LLUVIA HORIZONTAL EN LOS BHI

VIII.3.1. La PAN en los BHI iniciales

La inexistencia de medidas de la PAN, la extremada complejidad de su evaluación y el convencimiento, hasta hace unos años, de la escasa participación de este recurso en el ciclo hidrológico justifican su no presencia en los BHI más antiguos.

Sólo en el Proyecto Canarias SPA-15 se reconocía implícitamente su existencia cuando se aludía a *la condensación de niebla*, considerándola de forma testimonial y haciéndola formar parte de un denominado *«término de corrección de la Infiltración»* que también compartían *la escorrentía subsuperficial y la infiltración de la escorrentía en áreas de drenaje diferido y zonas porosas*.

VIII.3.2. La PAN en los primeros BHI construidos en el MHSup

La participación de la PAN, en los primeros BHI deducidos del MHSup, es indirecta. Se procedió tal como se expone a continuación.

En el mapa de la figura, su autor (Luis M. Santana) representaba los distintos grados de intensidad de la PAN en la isla de Tenerife. Al no estar acotados los valores que corresponden a cada tono de sombreado, no cabía ningún tipo de estimación cuantitativa al respecto. No obstante, valiéndonos de experiencias puntuales adaptamos a cada tono de sombra valores de PAN consecuentes con los obtenidos en dichas experiencias. Tales valores se sustrajeron al asignado, en cada celda de la retícula del MHSup, a la Capacidad de Retención de agua; de manera y modo que el resto venía a representar el límite máximo de contribución de la PC al suelo edáfico, pues lo sustraído a dicha Capacidad supuestamente habría sido aportado por la PAN. Al hacer el «balance en el suelo», la ETR resultaba el elemento damnificado; pues, en los cálculos, no se contabilizaba ese supuesto aporte virtual. En los BHI

construidos por esas fechas el valor de la ETR está pues infravalorado pues sólo contabiliza el agua evapotranspirada procedente de la PC.

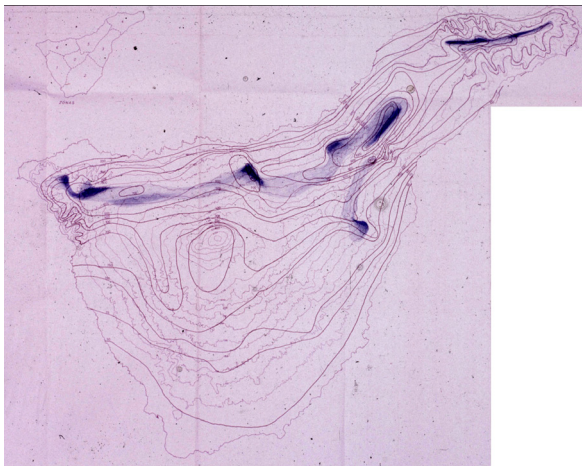


Figura 48. Distribución de la PAN en Tenerife según publicación de AGROCABILDO. LA PRECIPITACIÓN DE NIEBLA EN LA PROVINCIA DE TENERIFE. Luis Santana. 1987.

VIII.3.3. La PAN en los últimos BHI construidos en el MHSup

La incorporación al MHSup del *submodelo matemático de simulación de la lluvia horizontal* permite la evaluación cuantitativa y de reparto territorial de la PAN por toda la isla.

NOTA: En el capítulo XVI del bloque 3º, donde se sintetizan algunos trabajos relacionados con la hidrología insular, se muestran los BHI que les acompañaban. Cada BHI se presenta con el último «histórico» (1944/45-2014/15) deducido a través del MHSup. El contraste entre los dos vendrá a confirmar que los métodos tradicionales al uso en los estudios hidrológicos de cuencas, si bien son aplicables en las islas, necesitan complementarse con nuevos parámetros, algoritmos… que den respuesta a las ya comentadas «singularidades» de la hidrología insular.

Evidentemente no pretendemos imponer como reales y absolutamente ciertos los valores que, obtenidos del MHSup, definen cuantitativamente los diferentes elementos de cualquiera de los dos BHI aportados (histórico y actual); tales valores no son sino aproximaciones, cada vez más cercanas, a la realidad hidrológica de la isla. Al respecto nos avalan, precisamente, todos los BHI construidos hasta la fecha, no sólo con sus aciertos sino con sus posibles errores o desviaciones; los cuales nos han llevado a investigar y descubrir las causas y, a continuación, aportar los medios que los remedien.

CAPÍTULO IX
LOS RECURSOS SUPERFICIALES TERRESTRES

IX.1. LAS AGUAS SUPERFICIALES

Si asociamos las aguas superficiales al concepto de «escorrentía» superficial sólo serían de consideración aquellas aguas de precipitación atmosférica que circulan por los cauces naturales del territorio; pero no es el caso de algunas de las que ocupan este apartado. En esta isla, además de las aguas meteóricas, existen otras que acceden a los cauces en diferentes formas y que son o han sido «recursos» superficiales terrestres aprovechados.

IX.1.1. Las aguas subterráneas drenadas desde los acuíferos

1°) A este grupo pertenecen las aportaciones de agua **subterránea** procedentes de acuíferos conectados con los cauces a los que vierten sus caudales en continuo o esporádicamente; se trata del fenómeno denominado **regulación de ribera** que alimentando las corrientes superficiales contribuye a su permanencia. Según el tipo de acuífero de procedencia pueden establecerse a su vez dos subgrupos:

a) Se corresponden con las descargas de agua que se producen desde la superficie freática del multiacuífero insular en aquellos puntos donde aquella contacta con la superficie del terreno. Los avenamientos se concentran en el fondo de los barrancos más profundos, proporcionando importantes caudales continuos. De esta procedencia eran los antiguos nacientes de Aguamansa en La Orotava y de Río y Badajoz en Güímar; en ambos llegaban a conformarse caudales circulantes por el cauce de los barrancos de más de 100 L/s. La explotación generalizada de las aguas subterráneas en el entorno de estos nacientes hizo descender los niveles saturados y en consecuencia su desaparición. En la actualidad, el único vestigio es la corriente de agua que generan los nacientes de Abinque en el barranco del Infierno. Siglos atrás, estos tres cursos de agua llegaban a alcanzar el mar cual si de auténticos ríos se trataran; fueron los «Ríos» de Tenerife.

b) Serían las aguas procedentes de acuíferos **colgados** que afloran al exterior a través de múltiples surgencias y que acaban uniéndose para conformar un caudal conjunto capaz de superar la capacidad de infiltración del cauce y circular varios centenares de metros. Caudal que aumenta considerablemente después de las lluvias y que puede perdurar durante algunas semanas, como sucede en los cursos altos de los barrancos de Agua de Dios (La Laguna) o el barranco de Santos. En todo caso, pasadas las primeras horas posteriores a la descarga de la tormenta, los caudales disminuyen con rapidez.

En algún caso la corriente llega a mantenerse durante todo el año, como sucede en algunos de los barrancos de los macizos de Anaga y de Teno o en el barranco de El Río entre Arico y Granadilla.

2º) Este segundo grupo se corresponde con las aguas **subterráneas** que, extraídas del multiacuífero insular a través de galerías, son arrojadas a los cauces. Constituyen la escorrentía **virtual**: Su vertido obedece a dos razones:

a) Los denominados **excedentes de riego** son aguas, que al no tener uso en épocas de lluvia, se vierten a los barrancos cuando la capacidad de almacenamiento está colmada. Su importancia llegó a ser considerable en los años cincuenta, en la que coincidieron una alta producción de aguas subterránea con unas precipitaciones extraordinarias. En los meses de invierno era común verlas circular acompañando a las aguas de escorrentía de la lluvia. Su mención en la actualidad es meramente «testimonial» dado que se han ejecutado infraestructuras específicas para su almacenamiento y regulación.

b) Las aguas subterráneas que por su **baja calidad** son inutilizables y su destino es el cauce de los barrancos. En estos momentos cabe hacer el mismo comentario que con las anteriores, dado que se han ejecutado plantas desalinizadoras para mejorar sus calidades y ponerlas en uso.



Figura 49. Agua de galería con alto contenido en sales vertida al cauce de un barranco (CIATF)

3º) Las aguas **subterráneas** que alumbradas en algunos túneles –ejecutados para el tendido de conductos de transporte de agua– acaban vertiendo al cauce inmediato a la bocamina de salida. Cuando la traza del túnel conecta con el acuífero se genera una vía de desagüe por la que aflora un caudal continuo y prácticamente invariable.

IX.1.2. La aguas de escorrentía superficial

Sólo a las aguas superficiales que tienen como fuente originaria la lluvia convencional o la horizontal, les cabe la consideración de aguas de escorrentía, en este caso superficial; distinguiendo:

- ✓ Las que de forma periódica discurre por las cabeceras de algunos cauces, a los que les llega de «primera mano»[16] parte del **agua de niebla** que, captada a las nubes, deviene en la denominada lluvia horizontal.
- ✓ Las que «esporádicamente» se generan con la lluvia vertical o convencional, entre las que cabe diferenciar:
  - La **directa**, que se corresponde con la que sucede de inmediato al suceso de los aguaceros y que se prolonga durante el tiempo de duración de éste.
  - La **indirecta** que, retenida por la vegetación y los suelos más superficiales, le sigue a continuación prolongando durante algunas horas o días –según sea la entidad de la cuenca vertiente y la cantidad de precipitación recibida por ésta– la presencia del agua de escorrentía en la red de drenaje natural.

Una vez que se produce la lluvia, se genera escorrentía cuando la cantidad de agua recibida por el suelo supera su capacidad de infiltración; entonces surge una lámina de agua que discurrirá sobre la superficie del terreno bajo la acción de la gravedad hasta alcanzar los cauces de los barrancos, que la reconducirán hasta otros cauces o hasta su destino final que no es otro que el mar océano.

En tiempos existieron algunos cursos continuos de agua, es decir auténticos «ríos», que se alimentaban de las escorrentías superficiales. A ellos les dedicamos los próximos apartados.

IX.1.3. Las aguas de escorrentía subálvea

Son aguas de escorrentía superficial que, al alcanzar el curso inferior de los cauces, normalmente cubierto por una capa de acarreos, siguen circulando bajo éstos; en los tramos donde desaparecen los acarreos el agua emerge de nuevo a superficie[17].

---

[16] El agua de niebla puede llegar a los cauces bien directamente –las nubes contactan con el terreno– o bien a través de acuíferos «colgados» que se alimentan de este recurso

[17] Este tipo de escorrentía es especialmente significativo en la isla de La Gomera; concretamente en el barranco de Valle Gran Rey, donde se mantiene durante todo el año, es objeto de aprovechamiento mediante un zanjón transversal y un conducto de derivación. También es observable en algunos barrancos de Tenerife (El Infierno, Santos, los de Anaga, los de Teno…)

IX.2. CUATRO «RÍOS» HISTÓRICOS DE TENERIFE

IX.2.1. Consideraciones

Río: *corriente de agua continua y más o menos caudalosa que va a desembocar en otra, en un lago o en el mar* según el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE).

Siendo condiciones indispensables que la corriente de agua sea continua y que además desemboque en otra corriente o en el mar, actualmente no cabe conceptuar como ríos ninguna de las que discurren por los barrancos de la isla pues, además de que la mayoría son esporádicas, las continuas no llegan a alcanzar el mar; bien porque su escaso caudal acaba filtrándose en el subsuelo, bien porque son interceptadas en su recorrido y desviadas fuera de sus cauces muy lejos de sus desembocaduras. Sin embargo, en siglos pasados, varias *corrientes de agua continua y más o menos caudalosas* sí habrían tenido la consideración de «ríos». Dos de ellas todavía se conservan por lo que merecerán de nuestra especial atención.

IX.2.2. Algunas notas históricas

A mediados de los años ochenta quien les informa dedicó parte de su tiempo a hacer recopilación de cualquier referencia o documento histórico que ofreciera información de la explotación del acuífero general, también denominado acuífero profundo o, más conceptualmente, multiacuífero insular[18]. Uno de los propósitos de la encuesta era representar gráficamente la evolución histórica de la superficie freática[19] o techo de dicho multiacuífero desde el inicio de su explotación por pozos y galerías[20]. En la antigua Biblioteca Pública Municipal –una de las varias fuentes consultadas– se encontraban archivados los escritos enviados entre 1834 y 1856 por los Ayuntamientos al Gobierno Civil para informar de los alumbramientos de aguas y de los manantiales existentes en sus municipios respectivos.

Aunque en varios escritos se hacía mención explícita a la existencia de algún «río» dentro de la jurisdicción del Ayuntamiento encuestado, sólo cuatro parecía que disponían de las características que les acreditaban como tales. De dos de ellos: el del barranco de El Infierno en Adeje y el de Pasajirón entre Arico y Granadilla, quedan vestigios elocuentes de su existencia; sin embargo, de los otros dos: el del barranco de Aguamansa en La Orotava y el del barranco de El Río en Güímar no queda rastro alguno al respecto. Esta última circunstancia indujo la investigación que ocupa el texto de los siguientes apartados.

---

[18] Con cualquiera de estas tres denominaciones vamos a referenciarlo a lo largo de estas páginas

[19] Lugar geométrico de los puntos de agua que soportan una presión igual a la atmosférica

[20] Zonificación Hidrológica – Evolución de la Superficie Freática – (J. J. Braojos Ruiz – 1988)

IX.2.2.1. Sobre el «Río» de La Orotava

El extracto siguiente forma parte del escrito remitido por el Ayuntamiento de La Orotava, fechado en agosto de 1834.

Entre las varias fuentes que hay en esta jurisdicción…existen algunos manantiales de ***perpetuo curso****, como son el de la Fuente del Pino… .Esta agua nace en la cumbre… en un corto círculo, queda todo reunido formando un* ***gran río*** *que viene corriendo por el mismo barranco sin atargea que impide las filtraciones… por cuya razón al pueblo viene menos de la mitad….* Al agua de la Fuente del Pino se le unía parte de la del *Hidalgo que será al parecer de* ***dos muslos de agua,*** así como la *de Agua Pesada…*

A la corriente que conformaban los aportes de las mencionadas fuentes, conocidas como de Aguamansa cuyo caudal conjunto Francisco María de León[21] estimaba en unas *700 pipas/hora*, se vino en denominar el *Río de La Orotava*.

IX.2.2.2. Sobre el «Río» de Güímar

Por parte del Alcalde de Güímar se informaba entre otras de:

… Las aguas del Río y Badajoz, nacen cada una en el barranco de su nombre, se unen en la degollada y después se destinan a abasto y riego. Son conducidas por atargea hasta el pueblo. Riegan de 26 a 28 fanegadas que se benefician cada 13 días en que se repite el riego a los mismos ***constantemente cada año****…*

Se deduce que por aquellas fechas (mediados del siglo XIX) la corriente de agua era interceptada mucho antes de alcanzar la costa. Al respecto, el mencionado Francisco María de León hacía la siguiente puntualización:

Este caudal no era sino parte del ***gran caudal de agua*** *denominado El Río que fluía desde antaño por el barranco hasta que con motivo de los temblores de tierra que con tanta frecuencia se sucedieron en 1704 como presagios y anuncios de la erupción volcánica que tuvo lugar en el pueblo de Arafo, formose alguna grieta…desapareciendo tan importante fuente. En su lugar brotaron…otros nacientes…*

IX.2.2.3. Sobre el «Río Grande» de Adeje

Desde Adeje se informaba:

… los nacientes del barranco del Infierno son varios y nacen en el barranco de ese nombre al pie de los más altos montes…Están bien aprovechados… regarán 70 fanegadas de terreno…Además de los manantiales ***perennes*** *citados debe añadirse que hay algunos manantiales periódicos…*

[21] Noticias dadas por los Ayuntamientos de la Provincia de las Fuentes y Manantiales de sus Respectivas Jurisdicciones (Francisco María de León) – Biblioteca Pública Municipal de Santa Cruz de Tenerife

Al igual que el anterior, desde tiempo lejano el curso del agua se venía interceptando a mitad de recorrido para derivar y aprovechar el caudal circulante en el riego de cultivos. Sin embargo:

Las noticias históricas existentes indican que en la época de la conquista de la isla y la inmediatamente posterior (siglos XV-XVI), los nacientes alimentaban un curso de agua ***permanente****, el llamado Río Grande de Adeje, de caudal desconocido pero presumiblemente importante, no sólo por su nombre sino porque el agua* ***desembocaba en el mar*** *tras circular unos 8 km por el cauce del Bco del Infierno; su corriente, además, se consideraba bastante para mover uno o varios ingenios de azúcar (Báez Hernández, 2010)*[22]

IX.2.2.4. Sobre el «Río» de Pasajirón

En el escrito del ayuntamiento de Arico se aludía a las aguas de Pasajirón:

…esta agua nace en terreno de realengo que es el monte en la corriente del barranco de Pasajirón y quedándose a la derecha de éste la jurisdicción de Granadilla, tienen junto a dicho barranco las Monjas de Los Realejos la famosa dacta de Las Vegas, que ***corre de mar a cumbre****,….*

Sobre las mismas aguas de Pasajirón también se remitía información desde el Ayuntamiento de Granadilla:

…y finalmente el hermoso torrente que es el ***mayor de los ríos*** *de Tenerife que nace en repetidos chorros en el barranco de Pasajirón al Este de esta jurisdicción y que nos divide de la de Arico y* ***llega a veces el chorro hasta el mar*** *que dista más de tres leguas.*

IX.2.3. Orígen de los avenamientos

IX.2.3.1. Generalidades

Ante tales manifestaciones no cabía sino investigar el origen y la razón de ser de estos ***grandes ríos*** de ***perpetuo curso*** que, alimentados por manantiales ***perennes,*** *corrían* ***de mar a cumbre….*** Tanto el del barranco del Infierno como el de Pasajirón todavía mantienen, durante todo el año, una corriente de agua que no llega hasta el mar. De los otros dos: el río de La Orotava y el Río de Güímar, apenas quedan señales de su existencia, por lo que también cabía preguntarse cuales habían sido las causas de su desaparición.

De inicio, parecía razonable pensar que las fuentes que daban origen a ambas corrientes no se alimentaban directamente del agua de lluvia pues si así hubiera sido habrían permanecido en el tiempo, tal como lo siguen haciendo otros muchos manantiales en la isla que, asociados a acuíferos «colgados», disponen de

[22] Párrafo extraído del documento HIDROGEOLOGÍA DE LOS NACIENTES DE ABINQUE (ADEJE, SUR DE TENERIFE)…suscrito por JJ Coello Bravo et alt.

caudales continuos o casi continuos aunque variables en el tiempo; caudales éstos de los que también se tienen noticias históricas.

Descartados pues los acuíferos «colgados» no cabía sino investigar la posibilidad de que la fuente originaria de dichos «ríos» fuera el acuífero general. Era cuestión de comprobar si el techo de éste, es decir la superficie freática, en algún momento estuvo en contacto con el exterior y más concretamente en la zona de los manaderos.

IX.2.3.2. Los nacientes de Aguamansa y del Río

Los datos históricos obtenidos en la encuesta que apuntamos al inicio del capítulo habían posibilitado definir en casi toda la isla, tanto en planta como en alzado, la situación de la superficie freática inicial –que no la original[23]– que limitaba en altura el multiacuífero insular al comienzo de su explotación por las galerías. Intuitivamente, sobre el mapa construido al efecto definimos con toda intencionalidad «perfiles» longitudinales y transversales a los ejes de los barrancos interesados por aquellos puntos o enclaves donde, según los referidos escritos, se producían en tiempos pasados tan importantes avenamientos.

Pues bien, los perfiles revelaron que, en esos enclaves, el fondo de los barrancos de Aguamansa en La Orotava y del Río en Güímar, se localizan al pie de grandes saltos, deprimidos más de 400 metros respecto de la coronación de sus respectivas márgenes. Ambos cauces, precipitados en esos puntos a tan gran profundidad, estaban, por aquellas fechas, en contacto con la superficie freática inicial, cuyo distanciamiento, en altura, respecto de la capa de terreno superficial vecino a dichos barrancos era precisamente de unos 400 metros.

Aquellos manantiales perennes que daban lugar tanto al **Río de La Orotava** como al **Río de Güímar** no eran sino escapes o derrames del acuífero profundo hacia el exterior por aquellos puntos donde las dos superficies, la del terreno y la freática, confluían.

En la imagen adjunta se representan, en planta y en alzado, los niveles de la superficie freática original y de la actual en el entorno de Aguamansa (Valle de La Orotava) y el barranco de El Río (Güimar).

---

[23] La superficie freática «inicial» fue aquella que encontraron en cada zona de la isla las primeras galerías que obtuvieron alumbramientos de agua subterránea; pero siempre y cuando éstos se hubieran producido dentro de un lapso de tiempo cuya extensión permita, razonablemente, suponer la simultaneidad cronológica de los contactos de aquellas con el multiacuífero. Esta superficie freática «inicial» no tiene porqué coincidir con la «original»; es decir con aquella existente antes de que se iniciaran las primeras explotaciones de aguas subterráneas pues los sectores del multiacuífero más tardíos en explotarse ya habrían sufrido el descenso del nivel freático inducido por el generado en las zonas vecinas ya en explotación; es lo que se entiende por la inercia del acuífero

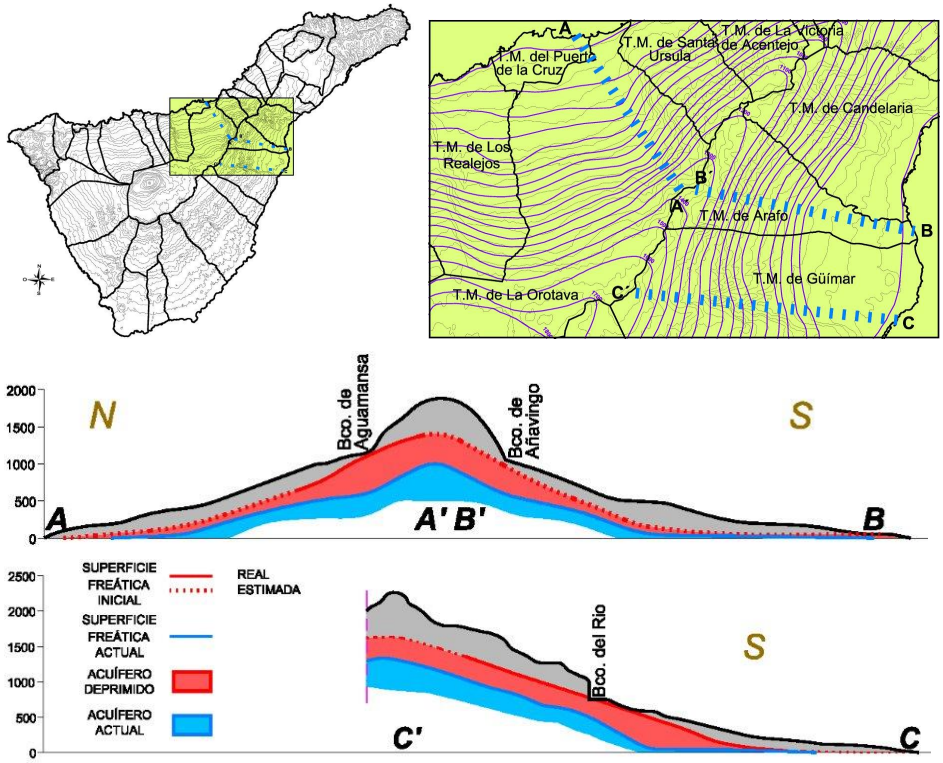


Figura 50. Tres cortes hidrogeológicos.

Antes del comienzo de la explotación de las reservas del agua subterráneas contenida en el acuífero basal, la superficie freática se localizaba relativamente cerca de la superficie del terreno, hasta el punto de que en determinados lugares una y otra eran coincidentes. Tal eran los casos del salto de Los Organos en del barranco de Aguamansa en La Orotava (corte A-A') y otro salto semejante en el barranco del Río en Güímar (corte C-C'); ambos de unos 400 metros de desnivel.

Lógicamente, después de la ocurrencia de lluvias ambas corrientes aumentaban su caudal con las aguas de escorrentía. Incluso es razonable pensar que aumentaran los puntos de surgencia en las inmediaciones del contacto y por ende los caudales subterráneos vertidos desde el acuífero, pues al estar tan próximas las dos superficies la recarga de la lluvia era casi inmediata, induciendo la elevación del nivel del agua y el consiguiente desborde al exterior.

IX.2.3.3. Los nacientes de Abinque

Los nacientes del barranco del Infierno –también conocidos como «Nacientes de Abinque»– que daban origen al *Río Grande* de Adeje se localizan en el fondo del barranco al pie de un gran salto, de más de 400 metros de altura; es decir en

un paraje orográficamente similar al de los nacientes de Aguamansa y del Río; por tanto, era presumible la existencia de contacto directo entre el terreno superficial y los niveles saturados iniciales. Realizada la misma operación que la hecha con los «ríos» enunciados en el apartado precedente, la evidencia no parecía tan convincente como en aquellos; sobre todo porque la información disponible para elaborar en la zona la superficie freática inicial era más bien escasa y apenas permitía una burda aproximación. No obstante, posteriores estudios confirmaran la sospecha.

En el año 2015 se celebraron en Las Palmas de Gran Canaria unas Jornadas[24] a las que concurrió el CIATF con la comunicación: HIDROGEOLOGÍA DE LOS NACIENTES DE ABINQUE (ADEJE, SUR DE TENERIFE) PRIMEROS RESULTADOS suscrita por Juan Jesús Coello Bravo et alt., fundamentada en el informe HIDROGEOLOGÍA Y EVOLUCIÓN DEL CAUDAL DE LOS NACIENTES DE ABINQUE redactado en el CIATF por el mismo autor.

A ambos documentos pertenecen los textos y las imágenes adjuntas.

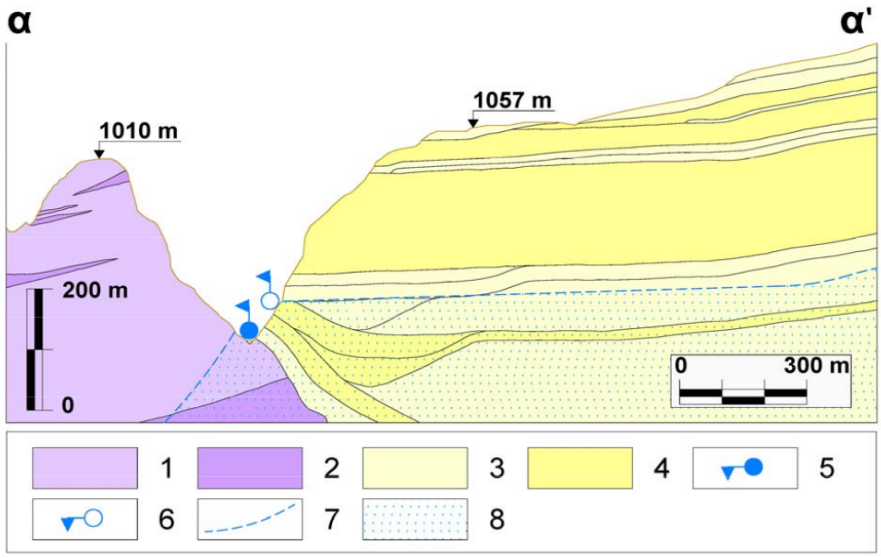


Figura 3. Corte hidrogeológico esquemático de los Nacientes de Abinque (véase la Figura 2 para la localización del corte). 1-Materiales de baja permeabilidad del Edificio Roque del Conde; 2-Materiales de muy baja permeabilidad del Edificio Roque del Conde; 3-Materiales permeables del Edificio Cañadas; 4-Materiales de baja permeabilidad del Edificio Cañadas; 5-Nacientes principales; 6-Nacientes secundarios situados a mayor cota; 7-Superficie freática; 8-Zona saturada del acuífero multicapa que alimenta a los nacientes.

Figura 51. Corte hidrogeológico esquemático de los Nacientes de Abinque. (informe CIATF)

[24] II Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos de islas volcánicas. II Workshop celebrado en Las Palmas de Gran Canaria del 21 al 23 de enero de 2015. IGME, Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH-AIH), CD-Rom: 159-166.

Los nacientes de Abinque son surgencias de aguas subterráneas de gran importancia ecológica localizadas… al pie de las ***profundas paredes****, de alturas superiores a* ***400*** *m, que constituyen los márgenes del Barranco del Infierno (Adeje, Tenerife) en su tramo medio. Los nacientes drenan un acuífero multicapa formado por materiales volcánicos de edad 1,9-1,3 Ma, pertenecientes al Edificio Cañadas II, …Dicho acuífero multicapas puede considerarse el* ***acuífero general*** *o* ***profundo*** *de este sector del sur de Tenerife.*

Sobre la cartografía local se representó la superficie freática «actual» y sobre ella se definió un «corte» coincidente con el entorno de los nacientes.

La geometría de la superficie freática que se deduce de la posición de los alumbramientos de todas las captaciones productivas próximas…, y los gradientes hidráulicos que de ella se infieren,… sugieren que la capa freática que alimenta los nacientes de Abinque no constituye un acuífero colgado, sino que forma parte del ***acuífero profundo*** *o general del sector.*

Así pues, tal como se apunta en las líneas precedentes, los Nacientes de Abinque del barranco del Infierno, que en su día daban origen al Gran Río de Adeje, se alimentan directamente de las reservas de agua subterránea que se almacena en el multiacuífero insular.

IX.2.3.4. Los nacientes de Pasajirón

Respecto al que desde Granadilla consideraban, hace casi dos siglos, *el mayor de los ríos de Tenerife* que *llega a veces el chorro hasta el mar,* cabía pensar que, dados tales atributos, los nacientes que daban origen a la corriente se alimentaban, al igual que los de Aguamansa y El Río, del acuífero general.

Los perfiles construidos en las inmediaciones de las surgencias dejaron claro que, en ese entorno, los niveles saturados que entendemos por iniciales estaban muy alejados de la superficie del terreno. En consecuencia, no pueden ser sino acuíferos «colgados» los que generan los múltiples nacientes que jalonan los cauces y las márgenes de los barrancos del Río o de Pasajirón y Los Riachuelos cuyo caudal conjunto conforma la corriente de agua a que se hacía referencia.

Así se ha considerado en los informes hidrogeológicos elaborados en el CIATF. Concretamente, en el último[25] se informó que:

En el cauce del Barranco del Río (también conocido en este tramo alto como Barranco de Pasa Girón o Pasajirón), …y en el cauce del Barranco de los Riachuelos, que confluye con el primero…, se hallan numerosos nacientes naturales, de gran importancia ecológica

Todos estos nacientes… están alimentados por ***acuíferos colgados****, emplazados en lavas fonolíticas muy fracturadas.*

[25] Expediente 6301C del CIATF

IX.2.4. Estado actual

IX.2.4.1. el «Río» de La Orotava y el «Río» de Güímar

La explotación intensiva del acuífero por medio de galerías en la Dorsal Este y, especialmente, cerca de los enclaves de Aguamansa y El Río, provocó el abatimiento sucesivo del nivel freático, que ya acusa en la zona hasta 500 metros de descenso. Los niveles saturados se alejaron de la superficie del terreno, cesando los contactos entre ambos y en consecuencia las descargas de agua al exterior desde el acuífero. El retroceso de los niveles acuíferos fue pues la causa de que aquellos antiguos manaderos desaparecieran sin dejar rastro. La superficie freática «inicial» se ha alejado una distancia, tierra adentro, de más de **2** kilómetros.

Nunca volverán a aparecer aquellos **dos ríos** de curso perenne.

IX.2.4.2. el «Río» de Adeje

En cuanto al Gran Río de Adeje, a partir del aprovechamiento de sus aguas quedó interrumpido su recorrido hasta el mar. Aun manteniendo de continuo la corriente, ésta se derivó fuera del cauce y además su caudal ha venido disminuyendo notablemente. Al respecto en los mentados documentos se informa que:

Los aforos disponibles se remontan hasta 1912 y…, muestran una clara tendencia de descenso del caudal de los nacientes desde 35-50 L/s hasta los 1,0-4,5 L/s que producen en la actualidad. La disminución de caudal en este período debe haberse producido tanto por un posible descenso de pluviosidad en la zona de recarga de los nacientes como por la explotación del acuífero multicapa por algunas captaciones de aguas subterráneas próximas.

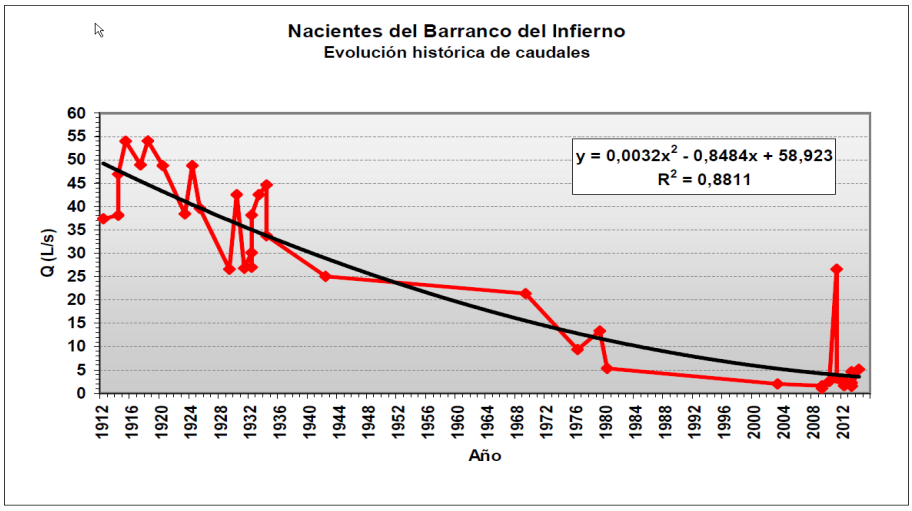


Figura 52. Evolución histórica de los caudales de los Nacientes de Abinque. (informe CIATF)

El descenso del caudal es significativo, por lo que, al respecto y en marzo de 1992, quien suscribe dejó por escrito[26] el siguiente comentario:

El que todavía permanezca el manadero se debe sin duda a que no ha sufrido ningún ataque directo…; pero lo que sí se ha modificado ha sido su caudal de fluencia …Ello ha sido como consecuencia del descenso de los niveles saturados más altos y la consiguiente pérdida de carga que han provocado las extracciones de las galerías del entorno.

…asumiendo que el manadero proviene del acuífero profundo…abogamos para que desde cualesquiera de los estamentos públicos o privados se promocione su conservación y mantenimiento, protegiéndolo…de cualquier actuación que pueda afectar su existencia.



Figura 53. Los nacientes de Abinque entre la densa vegetación del lecho del barranco. (CIATF)

También en los documentos referenciados se hacen llamadas de advertencia:

…, se considera que los nacientes de Abinque representan la descarga natural del acuífero general o profundo... Así pues, la surgencia y circulación de agua de forma continuada por el cauce del Barranco del Infierno está asociada a un sistema de aguas subterráneas relacionado directamente con el acuífero general de la isla. En estas condiciones, los nuevos alumbramientos

[26] ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS ALUMBRAMIENTOS DE AGUA MEDIANTE GALERIAS EN LA ISLA DE TENERIFE -. Juan José Braojos Ruiz - 1992 – PLAN HIDROLÓGICO INSULAR

de aguas subterráneas que pudieran producirse en el área próxima a los nacientes drenarían el mismo acuífero que los alimenta, y por tanto podrían afectar a la cuantía de sus surgencias, en la medida en que contribuyeran a acelerar el ritmo de los descensos de la superficie freática. Esta situación determina que sea recomendable establecer una zona de protección en torno de los puntos de surgencia…la necesidad de proteger la cuantía de las surgencias no obedece, …sino a tratar de garantizar que estos se conserven; tanto por su singularidad –al constituir uno de los muy escasos supervivientes de los drenes naturales del acuífero general de la isla– como por sus repercusiones medioambientales.

IX.2.4.3. el «Río» de Pasajirón

De los cuatro «Ríos» históricos, éste debió ser el que conservó su naturaleza intacta durante más largo tiempo dado que la corriente de agua circuló libre por el barranco hasta el año 1866, fecha en la que se la desvió fuera del cauce para su aprovechamiento en riegos; circunstancia ésta que ya había tenía lugar en los otros tres bastantes años antes.



Figura 54. Escorrentías de «cola» del hidrograma del temporal de los días 2 y 3 de febrero de 1996. Izquierda: circulando por un caletón inmediato anterior a la presa de «El Río»; derecha: las mismas escorrentías entrando a la presa.

IX.3. COMENTARIOS FINALES

Algunos barrancos de Teno y de Anaga posiblemente también tuvieron, en tiempos lejanos, corrientes de agua permanentes que circularon de cumbre a mar, aunque con recorridos más cortos que los cuatro mencionados. Si nos hemos referido únicamente a éstos últimos se debe a que su origen parecía que tenía lugar en el contacto del terreno con el acuífero profundo, fuente principal de alimentación de sus respectivos cursos de agua; circunstancia ésta confirmada en tres de los casos. En el cuarto, el barranco de El Río entre Arico y Granadilla, la corriente se alimenta de un nutrido grupo de manantiales que jalonan su cabecera.

Antes de llevarse a cabo la captación y derivación de las aguas alumbradas en los nacientes de Aguirre en Santa Cruz, por el barranco de Tahodio debieron descender caudales de agua casi permanntes que llegaban a alcanzar la costa; y así algún otro barranco de Anaga y Teno.

En este capítulo solo se ha pretendido hacer el repaso testimonial e incluso nostálgico de determinados recursos hídricos que en su día y sin proceder directamente de la lluvia fluyeron por algunos de los barrancos de la isla. En la actualidad no caben más recursos superficiales que los que se generan de forma natural y directa a partir de las precipitaciones de lluvia convencional, horizontal o de nieve; es decir, la «escorrentía superficial». A esta variable hidrológica le dedicamos el próximo capítulo.

CAPÍTULO X
LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

X.1. CONCEPTOS

En el capítulo precedente el término escorrentía superficial se ha abordado bajo la consideración de recurso hídrico aprovechable. En este nuevo capítulo se contempla como un elemento partícipe del ciclo hidrológico en la isla.

X.1.1. La Escorrentía superficial

Las precipitaciones caídas sobre un terreno natural producen en primer lugar, un incremento del contenido de humedad del suelo. Superados los primeros instantes de lluvia, si la intensidad con que la misma se presenta supera la capacidad de infiltración del suelo, se generará un excedente que fluirá libremente sobre la superficie del terreno hasta alcanzar algún cauce de barranco, constituyendo la escorrentía superficial. Ésta podría convertirse en recurso aprovechable mediante su captación en presas o tomaderos, y/o en agua de recarga si se infiltra en el cauce y/o en vertido al mar si llega a alcanzar la costa.

X.1.2. El Umbral de escorrentía

El umbral de escorrentía relativo a un suelo determinado representa la cantidad de agua de lluvia por encima de la cual se genera escorrentía pues se ha superado la capacidad de infiltración de ese suelo. Depende del tipo y uso del suelo, de la pendiente del terreno y en último término del estado de humedad de aquél en el momento de recibir el aguacero. Cabe distinguir al respecto entre el valor del umbral de escorrentía «característico», que es que le corresponde a la cuenca hidrográfica en estado de humedad medio, y los valores correspondientes a otros estados (entre el máximo y el mínimo, todos los posibles). Normalmente, se mide en mm/día.

X.1.3. El Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía cifra la fracción del total de agua de lluvia –convencional, horizontal o de nieve– que fluye superficialmente. Se consideran en exclusiva las fluencias relativas a la escorrentía natural.

A partir del umbral de escorrentía de un suelo en unas determinadas condiciones de humedad, puede deducirse el coeficiente de escorrentía que corresponde a ese suelo con ese estado de humedecimiento. A falta en la isla de estaciones foronómicas ambos conceptos son complejos de evaluar; no obstante, la falta de aparatos de registros de caudales puede suplirse con otros tipos de control, tal como se expone en el presente capítulo.

X.1.4. La escorrentía directa

Se corresponde con el agua de lluvia que, contactando con el terreno y estando éste ya saturado, escurre de inmediato sobre él.

X.1.5. La escorrentía indirecta

Es el agua de lluvia que habiendo quedado retenida en el suelo más superficial es devuelta a los cauces una vez cesado el aguacero, conformando la «cola del hidrograma» de acuerdo a una determinada curva de agotamiento.

X.1.6. La escorrentía de ribera

Se trata de aportes procedentes de acuíferos colgados conectados a los cauces en los que se almacena parte del agua de lluvia infiltrada de la que se desprenden lentamente, alimentando las corrientes superficiales y prolongando su permanencia durante días, semanas e incluso meses.

X.1.7. Hidrograma

Es la curva representativa del caudal que atraviesa una sección de un cauce en función del tiempo. En la isla son singularmente apuntados; lo cual significa que con ser muy altos los caudales instantáneos máximos, la avenida se suele generar y agotar con relativa rapidez. El flujo de agua sobre el cauce sólo persiste en los casos de existencia de acuíferos colgados vecinos.

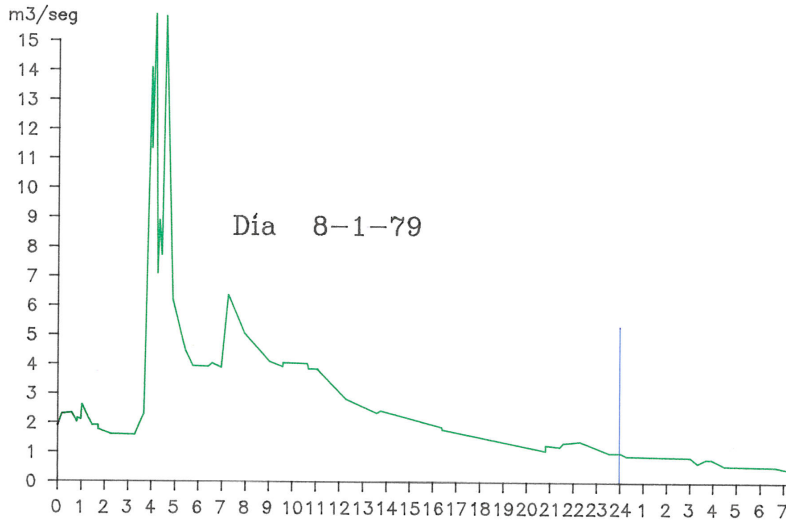


Figura 55. Hidrograma de avenida en el barranco de Agua de Dios o de Las Tapias. Tegueste.

Inicio del primero de los temporales de lluvia que visitaron las islas en enero de 1979. Por encima de la estación se localizan varios nacientes y galerías-nacientes que aportan al cauce una escorrentía de ribera casi permanente.

X.2. FACTORES CONDICIONANTES DE LA ESCORRENTÍA

Varios factores inciden sobre la generación de escorrentía de superficie a partir de la lluvia y su acceso y posterior discurrir por los cauces de barranco.

X.2.1. Meteorológicos

El volumen anual de escorrentía superficial integra los caudales que hayan circulado por los barrancos durante el plazo de un año que, entre otros, dependerá de la intensidad, regularidad y volumen de lluvia recibido. De las siete islas del archipiélago, La Palma ocupa el primer lugar en cuanto a la cantidad de agua de lluvia recibida: 740 L/m^2/año; dispone pues de un clima «húmedo». Le sigue Tenerife con un registro sensiblemente inferior: 423 L/m^2/año. La concentración en el tiempo y en el espacio que caracteriza la pluviometría insular da lugar a la ocurrencia de aguaceros locales capaces de superar los umbrales de escorrentía de ciertos suelos.

X.2.2. Topográficos

La pendiente del terreno facilita la generación de corrientes de agua de escorrentía, mientras que los suelos más llanos provocan el estancamiento temporal del agua favoreciendo el fenómeno evapotranspirante.

X.2.3. Hidrogeológicos

Determinadas subcuencas del sur de la isla, pero sobre todo los macizos de Anaga y de Teno, disponen de suelos de baja permeabilidad. Éstas son excepciones, pues lo cierto es que gran parte de la cobertera insular es de una permeabilidad media-alta, por lo que productividad de recursos hídricos superficiales –la escorrentía «directa»– es muy baja, en relación con la cantidad de lluvia que recibe.

La escorrentía «indirecta» suele ser escasa en cantidad y duración. Sólo cuando existe la comentada «regulación de ribera» la corriente de agua se prolonga en el tiempo. Sucede que en Tenerife los pocos manantiales naturales que aún subsisten apenas generan aportaciones apreciables. Son excepciones los barrancos de Agua de Dios o de Las Tapias (La Laguna, Tegueste), de Santos[27] (La Laguna, Santa Cruz), de El Río (Arico, Granadilla), de El Infierno (Adeje) –estos dos últimos ya comentados en apartados precedentes– y alguno de los que surcan los macizos de Anaga y Teno.

X.2.4. Geomorfológicos

De entre todos los «factores» geomorfológicas que caracterizan la permeabilidad secundaria de la roca de cobertera, el más significativo es el que hemos denominando «infiltración en cauces» cuya definición y valoración posponemos al ca-

[27] En la cabecera de su cuenca unos depósitos sedimentarios –los de la Vega de La Laguna– situados sobre coladas basálticas relativamente impermeables, constituyen un acuífero colgado de relativa magnitud. La regulación de ribera propiciada por dichos sedimentos lo hacen especialmente estable en sus caudales. En él, la escorrentía ocasionada por un gran aguacero puede mantenerse durante bastantes días e incluso semanas, llegando el caso de hacerse cauce permanente durante los inviernos más húmedos

pítulo siguiente pues es más afín a la infiltración, variable hidrológica protagonista de ese capítulo, que a la escorrentía, de la que es antagonista.



Figura 56. Alternancia de roca y materiales sueltos en el cauce de un barranco.
La roca de caja ha desaparecido en un tramo del cauce, aflorando en superficie materiales más permeables que facilitan la infiltración de las escorrentías.



Figura 57. Cauce del barranco del Volcán o de Fuentes del Vocán en Fasnia.
La erupción del volcán de Fasnia, justo en la cabecera de un barranco, originó sobre su primitivo cauce un verdadero «río» de lava que se encauzó barranco abajo (de ahí su denominación). La permeabilidad del suelo que subyace bajo el manto de lava era ya media-alta; la nueva cobertera –de muy alta permeabilidad– eliminó casi por completo la posibilidad de contemplar corrientes de agua de escorrentía por ese tramo de cauce.

X.2.5. Antrópicos

La actividad humana también ha contribuido a modificar el régimen hidráulico:

- ✓ A la evidencia de unos recursos de fácil disponibilidad, como son los superficiales, se respondió con distintos tipos de aprovechamiento. Pequeños **azudes**, **tomaderos**, **balsas** y **presas** de capacidades diferentes jalonan

muchos de los cauces. Se localizan, por lo general, de medianías hacia arriba, por lo que la observación directa de los caudales de avenida en los cursos bajos de algunos barrancos está mediatizada por la existencia, aguas arriba, de obras de este tipo que los cercenan, total o parcialmente.



Figura 58. Presas escalonadas a lo largo del cauce del barranco de Iboibo.

✓ Las laderas, en general, de pronunciada pendiente –factor determinante en la formación de escorrentías–, se ocuparon con **terrazas** para abancalamientos de uso agrícola. Muchas de ellas están abandonadas, pero siguen conformando un perfil escalonado que provoca la retención del agua en los bancales, para beneficio, sobre todo, de la evapotranspiración.



Figura 59. Terrazas de cultivo en ambas márgenes de un barranco.
Entre el cauce (centro de la imagen) y las rocas de las laderas circundantes, las terrazas de cultivo interceptan y retienen parte o todo el agua de escorrentía generado sobre aquellas.

✓ La intensa explotación de las aguas subterráneas ha producido el consiguiente abatimiento de la superficie freática, con lo que aquellos manantiales que se producían en el contacto de ésta con la del terreno han desaparecido para siempre. Al estar conectados con los cauces, aportaban unos caudales continuos que posibilitaban una regulación de ribera de efectos multiplicadores para la formación de corrientes de escorrentía.

✓ La explotación de las aguas subterráneas se hace mediante galerías y pozos, pudiendo alcanzar, las primeras, longitudes de más de 6.000 metros. La bocamina de estas captaciones se localiza por lo general en el fondo de los barrancos, pero sobreelevadas respecto al piso al objeto de disponer de espacio para depositar los materiales extraídos.



Figura 60. Escombreras de galerías ocupando total o parcialmente el cauce de un barranco.

✓ La explotación y puesta en uso de las aguas subterráneas ha dado lugar a unas largas y complejas infraestructuras de transporte. En alzado pueden contarse hasta una decena de canales atravesando las laderas, interrumpiendo con su traza la lámina de agua que escurre por ellas.



Figura 61. Canal descubierto discurriendo por una ladera propicia para las escorrentías.

✓ Algo parecido sucede con la extensa red de **pistas forestales**. En este caso el agua no es retenida, pero sí desviada de su curso natural y reconducida, en ocasiones, fuera de los límites de su cuenca de origen.

✓ En la isla son varios los **desvíos de barrancos** hacia otros vecinos que se realizan por razones urbanísticas e incluso de seguridad. Cuanto más alejado de la costa se haga el desvío más se modifica el régimen hidráulico de los barrancos afectados.

- ✓ La reconversión de eriales o terrenos de cultivo en **zonas urbanizadas** se traduce en un incremento de superficies asfaltadas o techadas, es decir, de superficies poco permeables, que dan lugar a disminuciones sustanciales de los umbrales de escorrentía y los consecuentes coeficientes.
- ✓ La **repoblación forestal** en las zonas desprovistas de vegetación induce, por un lado, la fracturación de la roca de caja, provocada por el enraizamiento del arbolado, y por otro, la generación de suelo edáfico en la superficie del terreno; ambos factores dan lugar a que la evapotranspiración y la infiltración incrementen su actividad en detrimento de la escorrentía.



Figura 62. Aspecto del cauce y laderas de un mismo barranco dentro y fuera de un bosque. Por el cauce de la imagen derecha la roca de caja denuncia corrientes regulares de agua; no así en el cauce y márgenes del de la izquierda donde la roca de superficie aparece muy desmenuzada.

- ✓ En las zonas urbanas se canalizan los barrancos mediante infraestructuras de **encauzamiento** generalmente cubiertas lo que conlleva:
  - La eliminación del fenómeno de «infiltración en cauces» cuando la solera natural se sustituye por otra artificial.
  - Acceso restringido a las escorrentías que circulan por sus inmediaciones si no se han habilitado medidas complementarias que reconduzcan las aguas hasta la obra de canalización.

- Una variación sustancial de determinadas características hidráulicas del tramo de cuenca afectado, como la superficie vertiente, la pendiente del cauce, la velocidad de propagación de la riada, el tiempo de concentración … que, lógicamente, modifican el régimen de avenidas.

✓ Dejamos para el final la **ocupación** de las márgenes, e incluso de los cauces de barranco, con elementos (construcciones, vehículos, enseres domésticos, escombreras…) no compatibles con el desagüe de las avenidas.



Figura 63. Escombrera invadiendo el cauce de un barranco.

X.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Varias de las incidencias citadas no son detectables sino a través de exhaustivas inspecciones a las cuencas hidrográficas; recorriendo sus laderas y los cauces de los barrancos que la surcan con el fin de identificar, valorar y cartografiar los aspectos y las singularidades más influyentes en la hidrología local. A partir de tales reconocimientos, complementados con la información de las cartografías disponibles, se caracterizaron la mayoría de las cuencas hidrográficas de la isla.

Esquemas como el de la figura adjunta aportan una visión general del complejo sistema arterial de drenaje de la cuenca en la que se representan, mediante tramas de colores, las formaciones geológicas que afloran en superficie y el grado de permeabilidad que les corresponde. Al croquis se incorporaban también carreteras, canales, obras de captación, bancales, desvíos de cauces, …

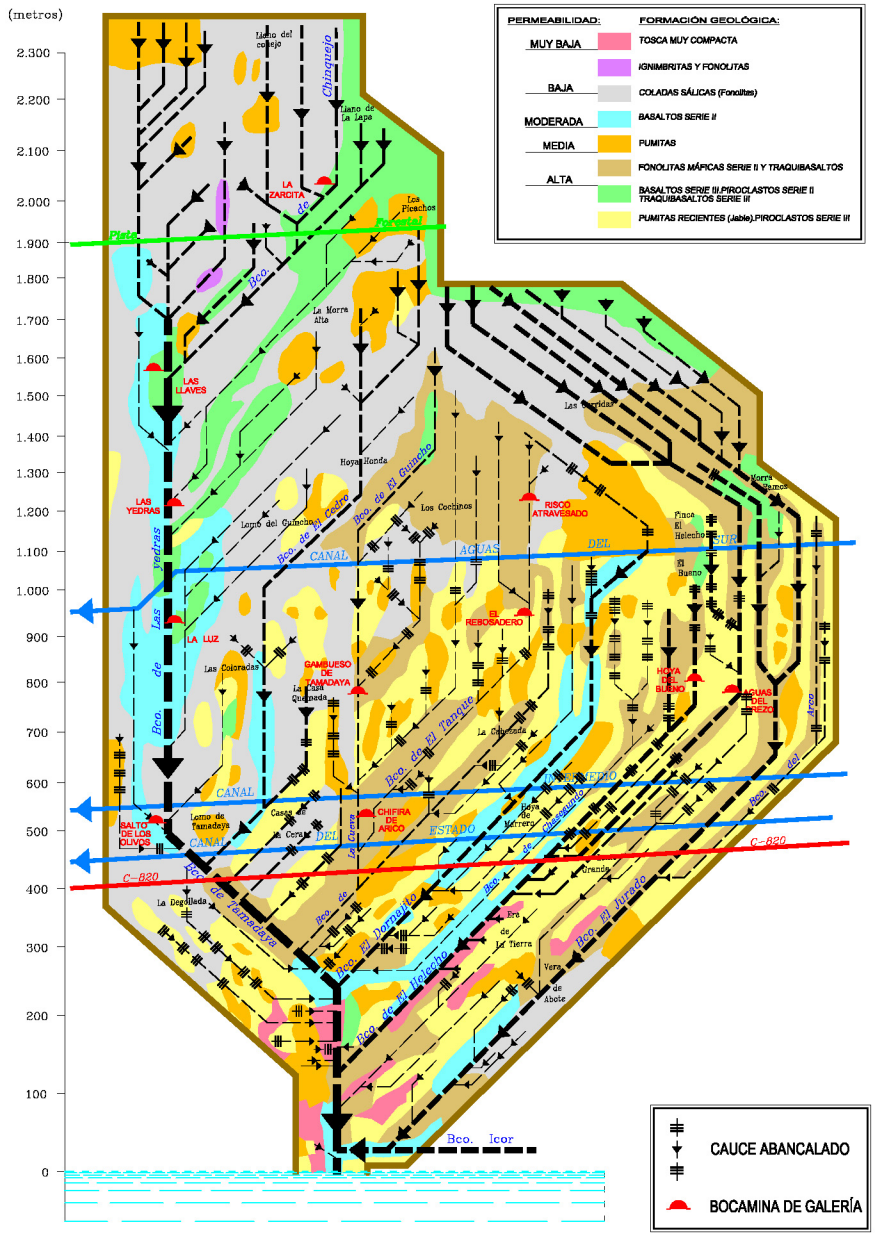


Figura 64. Esquema en alzado de la red de drenaje de la cuenca del barranco de Tamadaya

A principio de los años noventa cuando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) estaban aún poco implantados, no había otra forma de caracterizar hidrogeológicamente los suelos insulares. No obstante, toda la información acopiada en campo y gabinete (cartografías) permitió además de elaborar los esquemas citados, construir una tabla de valores del umbral de escorrentía (Po) similar a la del SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS), incluso más amplia y además consecuente con la realidad insular.

Posteriormente, con los SIG pudo automatizarse la evaluación del citado parámetro. Sucede, que la rigidez de las automatizaciones no permite controlar determinados aspectos singulares que la paciente labor «artesanal» sí puede detectar. Aquella primera tabla y. sobre todo, el amplio muestrario de cuencas hidrográficas que fueron caracterizadas hidrogeológicamente, se usaron en posteriores versiones del MHSup como elementos de contraste. Aún hoy siguen siendo útiles cuando esporádicamente y casi por sorpresa surge alguna iniciativa de investigación relacionada con la hidrología insular, tal como podrá comprobar el lector en el bloque que dedicamos al aprovechamiento de las aguas de escorrentía superficial.

X.4. INDICADORES BÁSICOS

X.4.1. El umbral de escorrentía

La escorrentía es elemento del balance más irregularmente repartido por la geografía insular. En el régimen de aportaciones de las cuencas tinerfeñas se combinan unas precipitaciones irregulares en el tiempo y en el espacio con unas dispares condiciones geomorfológicas y edafológicas, así como con una variada cubierta vegetal. La combinación de estos últimos da lugar al denominado ***umbral de escorrentía característico,*** que ya definimos al inicio del capítulo.

En Tenerife se dispone de muy escasas referencias empíricas sobre sus aguas superficiales y, en particular, de datos de aforos. Con el SPA-15 se instalaron las primeras estaciones de aforo de caudales de escorrentía; ahora bien, todas dejaron de funcionar a los pocos años, dada la insuficiencia de medios de atención; además, la información que proporcionaron fue bien escasa y aportó pocas referencias de valor. La definición de este parámetro, así como de los hidrogramas de avenida, se ha podido realizar a partir de medios y medidas no convencionales, pero sí eficaces; por ejemplo:

- Con el seguimiento de las escorrentías en varias **cuencas pilotos,** en aquellas ocasiones en las que se presumía la aparición de corrientes de escorrentías en sus cauces con la llegada de los temporales a las islas.



Figura 65.Escorrentías en el barranco de Guasiegre a las 11h y a las 16h del 14/12/1995 (CIATF)



Día 14 16h 50m Q≈150 pp/h<>20 L/s Día 14 17h 50m Q>400 pp/h<>53 L/s

En la madrugada del día 13 tuvo lugar el aguacero más intenso (hasta ese día se habían recogido 142 L/m^2). El día 14 el temporal afectó al norte de la isla y a las cumbres de Arico, Guía y Vilaflor. A las 16h 50m fluían por el cauce unas 150 pp/h (20 L/s). Siguió chubascando intermitente pero intensamente; el caudal, una hora más tarde era > 400 pp/h (53 L/s)

Figura 66. Seguimiento de las escorrentías en el bco. de La Magdalena en Vilaflor .

- Con visitas periódicas a determinadas **presas y balsas**, contrastando las variaciones del nivel del agua con la lluvia registrada en los pluviómetros.



17/12/1992 Q= 0,0 L/s Nivel: -1,8m (real: 8,2m)



19/12/1992 Q ≈ 5 L/s Nivel: -0,9m (real: 9,10m)



23/12/1992 Q>1500 p/h<>200 L/s Nível: 2,6m



28/12/1992 Q ≈ 25p/h <> 3.3L/s Nível 3,05m



29/12/1992 Q>300 p/h<>40 L/s Nível: +3.75



31/01/1993 Q = 0 L/s Nivel: +4.50m (real: 14,50m)

El 12 de diciembre de 1992 la presa almacenaba parte de las aguas de escorrentía generadas con las lluvias de octubre. El día 17 se iniciaron las lluvias de diciembre. Se visitó el embalse durante y después de la borrasca. Todos los días se tomó la altura del agua, así como del caudal (estimado) que entraba a la presa, constatando ambas circunstancias mediante fotografías.

Figura 67. Seguimiento de las escorrentías en la presa de Tabares.

- Con la información facilitada por BALTEN respecto de las entradas de agua superficial a las balsas que gestiona este organismo.
- A partir de los datos de caudales circulantes por los barrancos estimados por los vigilantes de cauces del CIATF.

Después de un proceso de calibración y extrapolación al resto de las cuencas hidrográficas se dejó definida una tabla de valores similar en estructura a la que ofrecía el U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE, aunque ampliada y ajustada a las características del territorio insular. Se distinguieron hasta cuatro niveles para los suelos tipo A (muy drenantes) y dos para los B (capacidad de infiltración moderada). Entre las coberteras se diferenció entre las terrazas de cultivo (TC), con sus diferentes estados de uso, y las masas forestales con vegetación de arbolado (AL), de monte medio-alto (MD) o de monte bajo (BJ), asociadas al grado de densidad de ocupación.

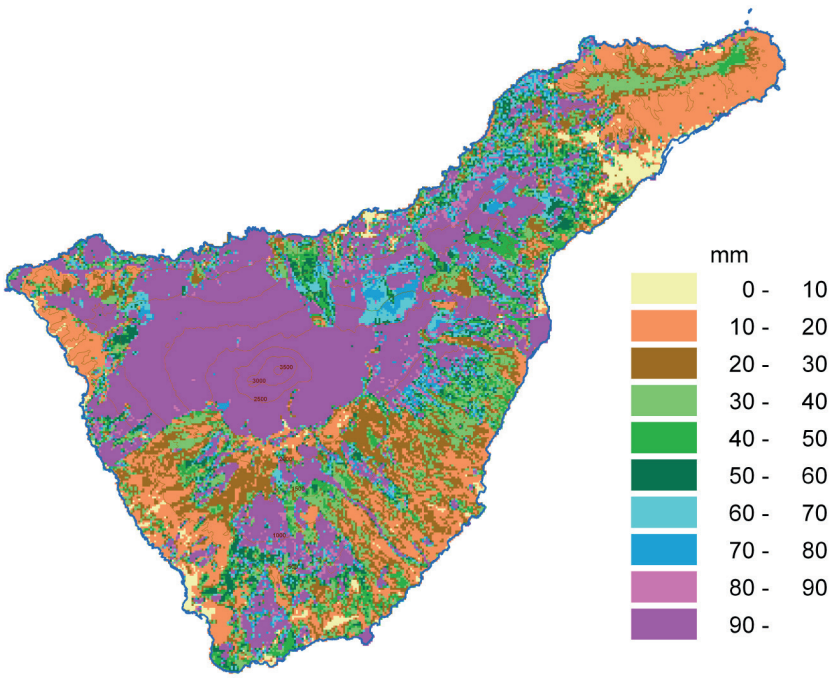


Figura 68. Mapa de isolineas de Umbrales de Escorrentía

X.4.2. El coeficiente de escorrentía

Relacionando el umbral de escorrentía con la precipitación se deducen valores del **coeficiente de escorrentía** muy bajos –próximos al 0%– en gran parte del territorio. Los más altos –superiores al 30%– en algunos núcleos aislados. El valor medio deducido en el MHSup para el período 1944/45-2014/15 es de un 2,3%.

X.5. EL CURSO DE LAS ESCORRENTÍAS

X.5.1. La escorrentía circulante

Para que se genere escorrentía superficial es necesaria la ocurrencia de aguaceros de intensidad alta; su presencia en el tiempo es, pues, muy irregular; limitando su aparición a dos o tres ocasiones al año que se concentran en el período otoño-invierno. Son muy raras las torrentadas en primavera y, hasta hace pocas fechas, insólitas durante el período estival. El reparto territorial es muy desigual, siendo la geomorfología del terreno la que marca las diferencias.

A lo largo de los cauces, los mayores caudales circulan por los tramos inmediatos a las estribaciones de las cumbres, donde discurren con altas pendientes y sus cuencas vertientes reciben las mayores precipitaciones. Las avenidas, en su recorrido hacia el mar, son diezmadas por el fenómeno de la *infiltración en cauces,* sin que esta pérdida se compense con nuevos aportes en las zonas bajas, donde la precipitación se reduce considerablemente; además, cabe la posibilidad de que sean interceptadas por elementos de captación para su derivación y aprovechamiento fuera del barranco.

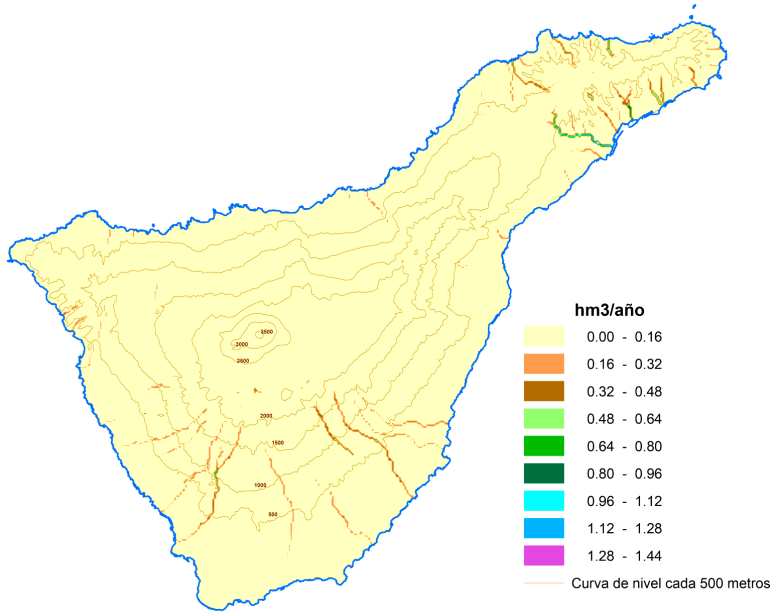


Figura 69. Distribución territorial de la Escorrentía Circulante

En los cauces más proclives a la escorrentía es frecuente observar en su curso alto corrientes de agua que se mantienen incluso más de un día, pero que no llegan a alcanzar la costa porque desaparecen paulatinamente a lo largo de su trayecto hasta el mar. La excepción a la regla son los barrancos de Anaga y de Teno pues sus cortos recorridos, así como la homogeneidad geomorfológica de ambos

macizos, no permiten grandes pérdidas; pudiendo conservar o incluso incrementar el caudal de escorrentía conforme se acercan a la costa.

El barranco con mayores aportes de escorrentía circulando por su cauce es el de Santos en Anaga (Santa Cruz). Al mar llega a verter cerca de 1 hm^3/año de agua de escorrentía; caudal al que habría que añadir los 0,5 hm^3/año que se captan y derivan para su aprovechamiento; además 1,5 hm^3/año se filtran en el cauce a lo largo del recorrido de las escorrentías hasta el mar. Hasta el cauce del barranco de Santos vierten, pues, alrededor de **3** hm^3/año desde su cuenca tributaria.

Le sigue el barranco de El Bufadero, también localizado en Anaga, pues recibe unos **1,5** hm^3/año de los cuales 0,6 hm^3/año desaparecen bajo el cauce, 0,09 hm^3/año se derivan para su aprovechamiento y el resto: 0, 8 hm^3/año alcanza la costa.

X.5.2. La escorrentía que se infiltra

En estos siete últimos decenios se estima que por los cauces insulares han llegado a circular unos **60** hm^3/año de aguas de escorrentía, de los cuales alrededor de **35** desaparecen en su recorrido hacia al mar, debido sobre todo al comentado fenómeno de la *infiltración en cauces*, sobre el que volveremos a incidir en el capítulo dedicado a la Infiltración.

X.5.3. La escorrentía de ribera

Un río, un arroyo o cualquier otra forma de curso de agua más o menos estable no se seca en cuanto cesan las precipitaciones que lo alimentan; muy por el contrario, suelen gozar de estiajes prolongados, y ello es así merced a la existencia de acuíferos conectados a los cauces, donde se almacenan las aguas que luego manan lentamente para alimentar las corrientes superficiales. A este fenómeno, ya comentado en el capítulo precedente y al que se conoce como **regulación de ribera**, se debe fundamentalmente la existencia de corrientes perennes.

En Tenerife, cuando una gota de agua se infiltra, e inicia su descenso hasta alcanzar el acuífero profundo, desconecta por completo de los cauces superficiales; sólo volverá a la superficie surgiendo en algunos de los innumerables alumbramientos existentes en pozos y galerías o acabará en el mar, bajo la línea de costa.

Si el agua infiltrada es interceptada por un acuífero «colgado» incrementará el caudal de fluencia del o de los manantiales asociados a dicho acuífero; cuando la descarga se hace sobre el cauce de un barranco la corriente subsiguiente adquiere el carácter de escorrentía superficial –escorrentía de **ribera**– susceptible de ser captada total o parcialmente por presas o tomaderos[28].

[28] Tales son los casos de las surgencias que vierten sobre los barrancos de Agua de Dios y de Santos; tiene este en la cabecera de su cuenca (que desagua a través de sus barrancos afluentes de las Mercedes y El Bronco) unos depósitos sedimentarios –los de la vega de La Laguna situados sobre coladas basálticas relativamente impermeables, depósitos que dentro de su modestia constituyen un acuífero colgado de relativa magnitud para lo que suele ser lo corriente en la isla. La regulación de ribera propiciada por dichos sedimento lo hacen especialmente estable en sus caudales. En él, la escorrentía ocasionada por una gran tormenta puede mantenerse durante bastantes días e incluso semanas, llegando el caso de hacerse cauce permanente durante los inviernos más húmedos. En todo caso, pasadas las primeras horas posteriores a la descarga de la tormenta, los caudales disminuyen con rapidez y se estabilizan en magnitudes del orden de no muchos litros por segundo

X.5.4. La escorrentía derivada y almacenada

Parte de la escorrentía circulante es interceptada para su almacenamiento, represándola en el mismo barranco mediante diques, o bien derivándola hacia balsas ubicadas fuera de sus cauces de procedencia.

LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA DERIVADAS Y ALMACENADAS														
Período	**E**	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	**AÑO**
1944/45 --	mm	0,18	0,09	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,15	0,22	**0,74**
2014/2015	hm^3/año	0,36	0,19	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,31	0,44	**1,50**
1985/86 --	mm	0,13	0,10	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,18	**0,62**
2014/2015	hm^3/año	0,27	0,20	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,29	0,36	**1,26**

Tabla 16. Distribución en el tiempo de las aguas de escorrentía derivadas y almacenadas

X.5.5. El Flujo de salida al Mar

Las aguas de escorrentía, en su recorrido por los cauces -alcancen o no la costa-, mantienen su condición de recurso hídrico susceptible de aprovechamiento; pero una vez que abandonan la superficie de la isla y descargan sobre el mar dejan de serlo y pasan a convertirse en un **vertido** más sobre las aguas superficiales costeras, por lo general cargadas de limos.

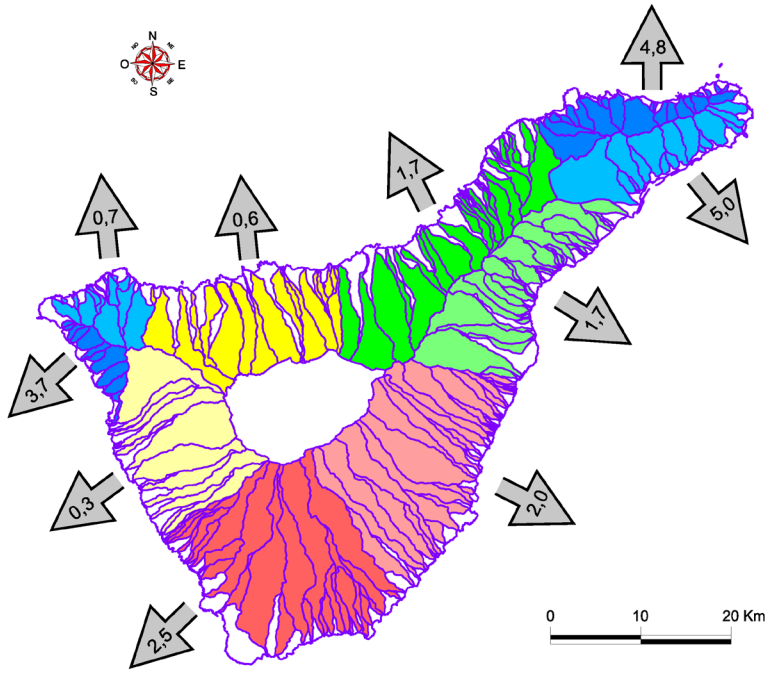


Figura 70. Descarga media de escorrentía al mar durante el período 1944/45-2014/15

- ✓ Por los cauces de ambas vertientes del macizo de **Anaga** descendieron cerca de 10 hm^3/año de agua de escorrentía que vertieron al mar a razón de unos 0,20 hm^3/año/km de costa.
- ✓ Por la costa meridional del macizo de **Teno** descargan anualmente una media de 3,7 hm^3 de agua, equivalentes también a unos 0,20 hm^3/año/km.
- ✓ El volumen anual medio que alcanzó la costa del **vértice sur** es de alrededor de 4,5 hm^3 equivalentes a unos 0,1 hm^3/km de costa.
- ✓ Las zonas de litoral que recibieron y reciben el menor volumen de aguas de escorrentía son las correspondientes al Valle de Icod en el norte y al Valle de Santiago en el sur.

EL FLUJO MEDIO DE SALIDA ALMAR														
Período	**E**	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	**AÑO**
1944/45 --	mm	3,28	2,41	1,23	0,42	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,17	1,25	2,64	11,5
2014/2015	hm^3/año	**6,7**	**4,9**	**2,5**	**0,9**	**0,1**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,3**	**2,5**	**5,4**	**23,3**
1985/86 --	mm	1,38	1,73	1,03	0,20	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,22	1,87	7,5
2014/2015	hm^3/año	**2,8**	**3,5**	**2,1**	**0,4**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,1**	**2,5**	**3,8**	**15,3**

Tabla 17. Distribución en el tiempo de las aguas de escorrenía que vierten al mar

No es éste el «vertido» de agua dulce al mar más importante, ya que desde el multiacuífero insular se produce una descarga subterránea media anual de más de **350 hm^3**; mientras que el volumen anual histórico medio de escorrentía superficial que alcanza la costa se estima en unos **23,5 hm^3**.

X.6. LA ESCORRENTÍA EN EL BHI

La escorrentía que participa en el BHI es aquella que llega a alcanzar la costa más la que se capta en el camino para su almacenamiento: 23,2 + 1,5 <> **24,7 hm^3/año** (media histórica) y 15,3 + 1,3 <> **16,6 hm^3/año** (actual).

LA ESCORRENTÍA MEDIA EN EL BHI														
Período	**E+DE**	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	**AÑO**
1944/45 --	**mm**	3,5	2,5	1,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,4	2,9	12,2
2014/2015	**hm^3/año**	**7,1**	**5,1**	**2,6**	**0,9**	**0,1**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,4**	**2,8**	**5,8**	**24,7**
1985/86 --	**mm**	1,6	1,8	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,3	2,1	8,2
2014/2015	**hm^3/año**	**3,3**	**3,7**	**2,2**	**0,4**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,1**	**2,6**	**4,3**	**16,6**

Tabla 18. Distribución en el tiempo de las aguas de escorrenía

No obstante, sin la consideración del almacenamiento la escorrentía del BHI habría sido ligeramente inferior, dado que parte de los 1,3 hm^3/año almacenados habría desaparecido en su recorrido hasta el mar, infiltrada en los cauces.

X.7. EL CÁLCULO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DE AVENIDA

X.7.1. Los primeros «estudios»

Allá por 1974 estaba finalizando el Proyecto Canarias SPA-15 y se estaba en la fase de preparación de la documentación final. La contribución del Proyecto al cálculo de caudales de máximas avenidas se materializó en el documento «ESTUDIO PREVIO DE MÁXIMAS CRECIDAS EN LA ISLA DE TENERIFE» elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). Se parceló la isla en 17 zonas y para cada una de ellas se definió el **caudal específico de crecida** para tiempos de recurrencia de 50, 100 y 500 años.

X.7.2. Los procedimientos al uso en los años setenta-ochenta

En los años setenta-ochenta dos actividades requieren del cálculo de dichos caudales máximos: EL PLAN DE DESLINDE DEL DOMINIO PÚBLICO en los cauces de la isla que llevó a cabo el Servicio Hidráulico y El PLAN DE BALSAS DE TENERIFE promovido por el Cabildo Insular. En el primer caso, en el proceso de deslinde de cauces era un trámite obligado definir el espacio que ocupa en el barranco el caudal de avenida relativo a un determinado período de retorno, establecido en 100 años. En el segundo, su cálculo era necesario para el dimensionamiento de los tomaderos y los aliviaderos de las balsas que tuvieran previsto aprovechar total o parcialmente aguas de escorrentía superficial. En estos trabajos se utilizaba, especialmente, el denominado «método racional» (también conocido como Método de Témez[29]); complementariamente también se usaban otros métodos, como el de las curvas isocronas.

X.7.3. Década de los años noventa

A partir de los años noventa se produjo en la Administración Hidráulica, en este caso el CIATF, una avalancha de solicitudes de autorizaciones para actuar en los cauces: encauzamientos, cubrimientos, desvíos, pasos de cauce, … Por lo general las solicitudes se acompañaban de un estudio de máximas avenidas deducido por el método racional, hidrometeorológico o de Témez.

X.7.3.1. El método hidrometeorológico en las cuencas insulares

El método hidrometeorológico (también conocido como método de Témez) se aconseja para cuencas pequeñas, menores de 50 km^2, o con un tiempo de concentración inferior a 6 horas, ya que se supone que son **homogéneas** en orografía, en cobertera geológica o edáfica, …; pero sobre todo en la distribución de la lluvia.

Nada más lejos de la generalidad de las cuencas insulares. En las islas de mayor relieve, como la de Tenerife, la mayoría de las cuencas de «cumbre» concentran gran parte de su superficie en su mitad superior. A partir de medianías la vertiente tiende a estrecharse, quedando reducida en su tramo inferior a una angosta franja

[29] Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales - 1978

de terreno. Además, los cauces en las cabeceras de cuenca discurren con **altas pendientes** que van atenuándose hasta alcanzar valores muy bajos en las zonas de costa. Otra peculiaridad destacable es el **fuerte gradiente pluviométrico** que se deduce de costa a cumbre, llegándose a medir en ésta precipitaciones cuatro veces, o más, superiores a las que se recogen cerca de la costa. Además, la geología de superficie suele ser absolutamente heterogénea. En una misma cuenca, pueden alternarse suelos de baja permeabilidad con otros muy permeables.

Factores éstos que unidos dan lugar a que, en los cálculos, el caudal máximo de avenida a lo largo de la cuenca se produzca antes de que el cauce principal alcance la mitad de su recorrido. Al aplicar la metodología en cualquier punto de ese tramo superior se deducirán caudales de avenida perfectamente lógicos y consecuentes con la superficie de cuenca derivada y las condiciones geomorfológicas y pluviométricas aguas arriba del punto considerado. Pero si se sigue aplicando aguas abajo, los caudales obtenidos serán cada vez menores, siendo el de la cuenca vertiente a la costa el más bajo de todos a pesar de que derive la mayor superficie vertiente; circunstancia que no tiene, lógicamente, ninguna justificación, a menos, claro está, que haya mediado en el recorrido algún elemento artificial laminador de avenidas.

Aunque el procedimiento contemplaba en alguno de sus apartados la consideración particular del «archipiélago canario», si se hacía uso de ella había que ampliar esas particularidades a otros apartados, pues determinadas hipótesis o simplificaciones del método no eran ni son aplicables a la mayoría de las cuencas de las islas.

X.7.4. La Guía Metodológica de Caudales Máximos de Avenida

A fin de subsanar las citadas anomalías y conseguir una uniformidad de criterios, desde el CIATF se desarrolló una herramienta para el cálculo de Caudales Máximos de Avenida, de uso general, que proporciona el caudal de escorrentía líquida en cualquier punto o cuenca vertiente seleccionada; la Guía facilita además el nombre y los datos físicos del cauce, las coordenadas del punto de cálculo, así como los datos de precipitación máxima diaria y los caudales de avenida asociados a distintos (hasta 10) períodos de retorno[30].

X.8. LOS ARRASTRES SÓLIDOS

La escorrentía generada por los fenómenos tormentosos induce la erosión de los terrenos por donde circula y el movimiento de los materiales (minerales y vegetales) erosionados por las laderas y los cauces, con el consiguiente transporte a lo largo de la red hidrográfica de la cuenca en cuestión[31].

[30] Al final del libro –Bloque complementario– se ofrecen más detalles de la Guía

[31] Informe del CIATF acerca de las actuaciones realizadas en la desembocadura del barranco de El Bufadero – José D. Fernández Bethencourt – 09/2010



Figura 71. Cauce del barranco de Tafuriaste después de la riada del 16/11/2009.

La erosión arrancó gran cantidad de material en los cauces y laderas del Valle de La Orotava; gran parte de ese material acabó sedimentando en los tramos inferiores de los cauces cerca de la costa.

X.8.1. Evaluación

La cuantificación del material arrastrado es muy compleja, pues depende de múltiples factores: la intensidad de la lluvia y la velocidad de desplazamiento de la lámina que escurre, el tipo y espesor de suelo, el tipo y densidad de la vegetación,...:

- ✓ El **tamaño de la cuenca** tiene un efecto importante sobre el caudal sólido total. De la curva que los relaciona se deduce que a menor superficie de cuenca vertiente mayor caudal sólido específico se genera.
- ✓ La **pendiente** de la cuenca guarda una estrecha relación con el caudal sólido. En este caso se ha demostrado que existe una buena correlación entre ambos elementos; lógicamente, el poder erosionante aumenta de sobremanera con la pendiente de las laderas.
- ✓ El **hidrograma** de crecida y la lluvia que lo causa, se correlacionan bien con el mentado caudal sólido[32]

De cualquier forma, y a los efectos de disponer de cifras que manejar, se puede estimar, de forma elemental y aproximada, la erosión media en las cuencas a través del denominado **espesor equivalente**[33], cuyo valor depende de las características geomorfológicas de la cuenca y de la entidad de la tormenta.

[32] Las Cuencas Representativas y Experimentales. Centro de Estudios Hidrográficos.

[33] Hidrología y Recursos Hidraúlicos. D.G.O.H.- C.E.H. – Rafael Heras – Madrid 1.976



Figura 72. Efectos de los arrastres sólidos en los cauces de los barrancos canalizados o naturales.

Izquierda: la erosión ha socavado el lecho del cauce dejando el muro de encauzamiento «abalconado». Derecha: los arrastres han superado los límites naturales del cauce desbordando por ambas márgenes.

Con ocasión del fatídico temporal del 31 de marzo de 2002 desde el CIATF se llevó a cabo, en algunos de los barrancos capitalinos, la medición de los arrastres depositados por la riada en los cauces y zonas adyacentes. A partir de tales mediciones se pudieron acotar los valores de la erosión media que correspondieron a los diferentes tipos de cobertera de las cuencas de Anaga.

Pues bien, en aquellas zonas de cuenca cuya cobertera estaba conformada por suelos someros con muy poco desarrollo, poblados por una no muy densa población de vegetación autóctona de porte medio-bajo, el mentado espesor equivalente no alcanzó sino 10 mm <> 10 dm^3/m^2. En términos relativos, los arrastres sólidos habían alcanzado poco más del **4%** respecto de la escorrentía líquida.

En el extremo opuesto se alinearon aquellos núcleos donde la vegetación natural era minoritaria al estar densamente colonizados por pequeñas parcelas, bancales o terrazas de cultivo, pistas de acceso, etc. En estos lugares llegaron a constatarse valores de hasta 109 mm <> 109 dm^3/m^2; llegando a representar la aportación sólida el **51%** de la líquida. Entremedias, toda una casuística de valores. En general, en aquellas cuencas que recibieron de pleno las lluvias se dedujo una aportación media de escorrentía sólida equivalente al **15% – 20%** de la aportación líquida.

CAPÍTULO XI
LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

XI.1. CONCEPTOS

XI.1.1. La Evapotranspiración (ET)

En el Manual[34] de la FAO se ofrece esta definición:

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

XI.1.2. La Evapotranspiración Potencial (ETP)

El concepto de **evapotranspiración potencial** fue definido por Thornthwaite en 1948 como *el máximo de evapotranspiración que depende únicamente del clima sin que exista restricción de agua en el suelo*.

Pueden encontrase definiciones más cercanas en el tiempo, como la que se aporta desde el Ministerio de Agricultura y Pesca; todas ellas similares:

El concepto de ETP se refiere a la cantidad de agua que podría evapotranspirarse si las disponibilidades de agua son ilimitadas y se define como la tasa máxima a la que se podría evapotranspirar el agua desde la cubierta vegetal, superficies libres de agua, suelo y vegetación en unas condiciones óptimas de suministro, con el suelo y vegetación existente.

El Instituto Geográfico Nacional la define como:

La cantidad máxima, teórica, de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación y constantemente abastecido de agua.

XI.1.3. La Evapotranspiración de Referencia (ETo)

Retomando el referido documento de la FAO extraemos que:

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con unas características específicas. En concreto, las características de dicho cultivo son: una altura asumida de 0.12 m, con una resistencia superficial fija de 70s m-1y un albedo de 0,23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo.

El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo… El relacionar la

[34] EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos – ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56.

ET a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la ET de otras superficies.

Como resultado de una consulta de expertos llevada a cabo en mayo de 1990, el método FAO Penman-Monteith se recomienda actualmente como el método estándar para la definición y el cálculo de la Evapotranspiración de referencia, ETo.

XI.1.4. La Evapotranspiración de Cultivo (ETc).

Acudiendo de nuevo a la publicación de la FAO:

… la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas.

… Los efectos de las características que distinguen la superficie cultivada de la superficie de referencia se integran en el coeficiente de cultivo (Kc) ... la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ETo por Kc. Es decir: ETc = ETo x Kc

*El **coeficiente de cultivo** (Kc) integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre totalmente la superficie del suelo… Expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie de pasto de referencia.*

XI.1.5. La Evapotranspiración Real (ETR).

La ETR se diferencia de la ETP en que en la primera se tienen en cuenta las disponibilidades de agua. Se la puede definir pues como *la cantidad de agua de lluvia* –cuando se trata del ciclo hidrológico– *que realmente es devuelta a la atmósfera en el proceso de evapotranspiración*. En el ámbito agrícola el agua evapotranspirada puede proceder de la lluvia o del riego de los cultivos.

XI.1.6. El balance en el suelo

La diferencia entre las entradas[35] o aportes de agua procedentes de la precipitación convencional (PC) y horizontal (PAN) y las salidas o pérdidas[36] de agua por escorrentía (E), evapotranspiración (ETR) y percolación o infiltración (I), determina la variación del agua de reserva en el suelo a disposición de las plantas; equivalente ésta a su vez a la diferencia entre la reserva final (RF) y la reserva inicial (RI):

$$PC + PAN - E - ETR - I = RF - RI$$

En el bloque 5º (descripción del MHSup) se abunda en este proceso.

---

[35] El ascenso de agua por «capilaridad» desde el acuífero profundo es de escasa significación; máxime si se tiene en cuenta que la superficie freática se encuentra a centenares de metros por debajo de la del terreno en la mayor parte de la isla.

[36] El agua interceptada por las hojas del arbolado se estima como pérdida por evaporación

XI.2. LA ETP, LA ETO Y LA ETC

XI.2.1. Acerca del uso del término «Evapotranspiración Potencial»

Cuando a principios de la década de los noventa del pasado siglo quien suscribe acometía la definición conceptual del modelo de simulación de la hidrología de esta isla (MHSup) estaba absolutamente vigente el concepto de Evapotranspiración Potencial (ETP), así como su evaluación a partir de la fórmula de Thornthwhaite.

Al poco tiempo la FAO recomendó el uso de la fórmula de Peman-Monteith para el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) *en la estima de los requerimientos de riego de los cultivos*. Desde ese momento, no sólo la fórmula de Thornthwhaite, sino el propio término Evapotranspiración Potencial, cayeron en el descrédito en algunos sectores. Ha sido el paso del tiempo el que ha venido a confirmar la vigencia de la Evapotranspiración Potencial como concepto válido a utilizar, al menos, en la ciencia hidrológica.

Al respecto, son varios los trabajos en los que se adopta esa terminología. De ellos destacamos el modelo de simulación hidrológica SIMPA[37] por su amplia difusión; habiendo sido usado para la Evaluación de los Recursos Hídricos de España en el Libro Blanco del Agua[38]; también lo adoptó el Plan Hidrológico Nacional, así como varias demarcaciones hidrográficas peninsulares en la elaboración de sus Planes Hidrológicos. En todos estos documentos se hace referencia explícita al término Evapotranspiración Potencial[39].

XI.2.2. Acerca del uso de la ETo y la ETc en el medio hidrológico

La ETo se relaciona, sobre todo, con los requerimientos de agua de los **cultivos**; no obstante, también es aplicable a la vegetación natural, pero con determinados matices. Para su uso generalizado se le debe afectar con un denominado «coeficiente de cultivo» (Kc), obteniendo así la «evapotranspiración de cultivo» (ETc). El valor de Kc no es fijo, pues depende de factores tales como la estación del año o el estado fenológico de la planta en el momento del cálculo (Kc ini, Kc med y Kc fin).

---

[37] Sistema Integrado de Modelización Precipitación Aportación - Estrela y Quintas, 1996; Cabezas et al., 2000; Ruiz, 2000

[38] El Libro Blanco del Agua en España fue redactado, bajo la dirección de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente, por la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, con la colaboración, asistencia y soporte técnico del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

[39] Así se expresa oficialmente: el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica, recoge en el artículo 4 el contenido obligatorio en los planes **hidrológicos** de cuenca de, entre otros, *el inventario de los recursos superficiales y subterráneos…* que *incluirá,* según el artículo 2.4.2 de la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica "*…las series hidrológicas de, al menos, las siguientes variables: precipitación, evapotranspiración* ***potencial****, evapotranspiración real, recarga a los acuíferos, escorrentía superficial, escorrentía subterránea y escorrentía o aportación total…*

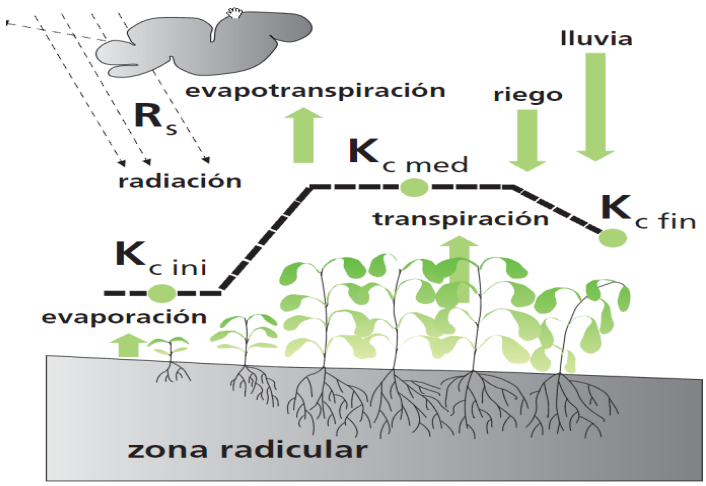


Figura 73. Estados fenológicos de una planta con asignación de sus respectivos Kc.
Imagen extraída del Boletín 56 del ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE

Por tanto, en el medio agrícola la ETc se evalua día a día, con objeto de averiguar la necesidad inmediata de agua del cultivo y poder establecer la dotación de riego. Al día siguiente, ese valor de la ETc deja de estar vigente.

No es este el caso de los modelos de simulación hidrológica. Alimentados éstos con la información climatológica histórica disponible, su función es reproducir las distintas fases del ciclo hidrológico, evaluando sus principales componentes y definiendo el balance hídrico para intervalos de tiempo comprendidos siempre dentro del período histórico seleccionado; es decir son «notarios del pasado» pero no controlan el presente inmediato; en todo caso, pueden usarse para hacer análisis tendenciales y/o de prognosis en presumibles escenarios climáticos futuros.

De cualquier forma, la ETo –calculada por la fórmula de Penman-Monteith– está acreditada en cualquier lugar del planeta como el mejor indicador del potencial evapotranspirante, por lo que su aplicación se ha hecho extensible también a la hidrología, aunque…*dado que la evapotranspiración no sólo se controla por factores meteorológicos sino que viene regulada también por el tipo de vegetación, a la ETo se le debe afectar con un coeficiente corrector (coeficiente de vegetación) variable en el espacio pero invariante en el tiempo* (T. Estrela, F. Cabezas y F. Estradas - 1999).

XI.3. MÉTODOS DE CÁLCULO

XI.3.1. Consideraciones previas

A lo largo de estas páginas, seguro que en más de una ocasión habremos destacado el mayor protagonismo de los recursos subterráneos (más del 80%) frente a los superficiales (menos del 1,5%) en la oferta hídrica de la isla; y por co-

rrespondencia, la importancia de la variable hidrológica «Infiltración» frente a la «Escorrentía», partícipes principales ambas del balance hídrico insular del que la primera es el elemento de cierre: I = PT – (ES + ETR + EA + VR). Por tanto, la fiabilidad del valor que se deduce para la I depende, lógicamente, del grado de precisión alcanzado con el de los restantes términos del balance; en concreto con el de la ETR, y por ende, con los que corresponden a los elementos que participan en su cálculo; entre ellos la Evapotranspiración Potencial.

Cuando en septiembre de 2009 se hizo la presentación oficial del MHSup, con respecto al cálculo de la ETP se argumentó que en el momento de acometer la modelización de la hidrología insular –principio de los años noventa– a falta de estaciones completas[40], su evaluación se había hecho combinando el método de Thornthwhite con otras metodologías al uso, como la de Penman-Monteith. Se había comprobado, además, que se había seguido un procedimiento similar al adoptado en varias demarcaciones hidráulicas peninsulares.

XI.3.2. De la fórmula de Thornthwaite

Hasta principio de los años noventa el método de Thornthwhaite para el cálculo de la ETP era el más utilizado debido a que básicamente sólo necesita datos de temperatura. No obstante, en aquellos años ya éramos conscientes de que dicho método estaba muy cuestionado, pues su aplicación en zonas áridas y semiáridas infravaloraba los valores reales de este parámetro. Para nuestro convencimiento, llegamos a comprobar que en los entornos de la isla por encima de la cota 1500 m la fórmula de Thornthwhite deducía, efectivamente, resultados muy por debajo de los que se obtenían con otras metodologías[41].

La razón de tal desajuste residía en la consideración, por parte de dicha fórmula, de tiempos estándar de insolación. Todo el entorno de Las Cañadas del Teide y lógicamente el propio Teide, se encuentran por encima del ámbito de estacionamiento del llamado «mar de nubes», el cual deja sin el alcance directo de los rayos solares, durante bastantes días al año, a las franjas de medianía e incluso, en ocasiones, a las de costa, sobre todo del Norte de la isla. Por contra, estas zonas de cumbre disponen de un gran número de horas de insolación al año que destaca sobre el que cuenta no sólo el resto del suelo insular sino todo el territorio español. El tiempo real de insolación es un dato imprescindible a la hora de establecer el valor de la ETP en este enclave; máxime si se tiene en cuenta que sobre él la precipitación se produce, en muchas ocasiones, en forma de nieve que llega a mantenerse durante semanas. Además, en las «lagunetas» de las Cañadas el agua almacenada puede estar expuesta a los rayos solares, también varias semanas.

[40] La media docena de estaciones disponibles sólo cubrían la zona de costa y el entorno de la cumbre del observatorio de Izaña

[41] Fórmulas recomendadas por la FAO: Penman sin corregir, Priestly Taylor y Blaney-Criddle

XI.3.3. De otras fórmulas de cálculo de la ETP

A principio de los años noventa del siglo pasado –fechas del inicio del MHSup– en el entorno de Las Cañadas del Teide sólo existía una estación meteorológica completa: la del Observatorio de **Izaña**. A partir de sus datos climatológicos se calculó la ETP media para el período 1986/1990 por los métodos de Thornthwhite (T), Priestly-Taylor (PT) y Penman-Monteith (PM) cuyos resultados a escala mensual se ofrecen en la Figura nº 74-inferior. Como cabía esperar el método de Thornthwhite generó unos valores de ETP menores que los otros dos métodos.

Con respecto al resto de la isla, se contó con el Estudio de los Consumos y Necesidades Hídricas Agrarias de las Islas Canarias suscrito por SYNCONSULT S.L. y AICASA (12/1987); en uno de sus capítulos, titulado la Aproximación de la Evapotranspiración, se analizaban varías de las ecuaciones empíricas al uso. Con los datos proporcionados por dos estaciones ubicadas en Norte de Tenerife (Isamar y Pajolillos), se analizaban los métodos de Blaney-Criddle, Radiación, Priestly-Taylor, Penman y Penman modificado por la FAO. Del contraste de dichos métodos se concluía en el estudio que:

> *la aplicación de Priestly-Taylor para estimar las necesidades netas del cultivo de plataneras son concordantes con los datos obtenidos a partir de ensayos de riego realizados en zonas cercanas a la ubicación de las estaciones estudiadas.*

Se hizo el contraste entre el método de Priestly-Taylor y el de Thornhwhite, figura nº74[42]. Hechos los análisis pertinentes y teniendo en cuenta que:

1. En el cálculo de la ETP por Thornthwhite interviene como factor principal la temperatura y ésta contaba con una aceptable red de control.
2. En las otras alternativas se usan variables climáticas registradas en sólo media docena de estaciones completas, en aquel momento en la isla.
3. Podían establecerse equivalencias entre unas y otras mediante la definición de coeficientes correctores según zonas y estaciones del año.

[42] Utilizando los datos de temperatura del mencionado Estudio, se calcularon las ETP mensuales medias en la estación de Isamar (285 m.s.n.m.) en Tacoronte durante el período 1975-1986 y en la estación de Güímar-Planta (120 m.s.n.m.) en el período 1.981-1.986.

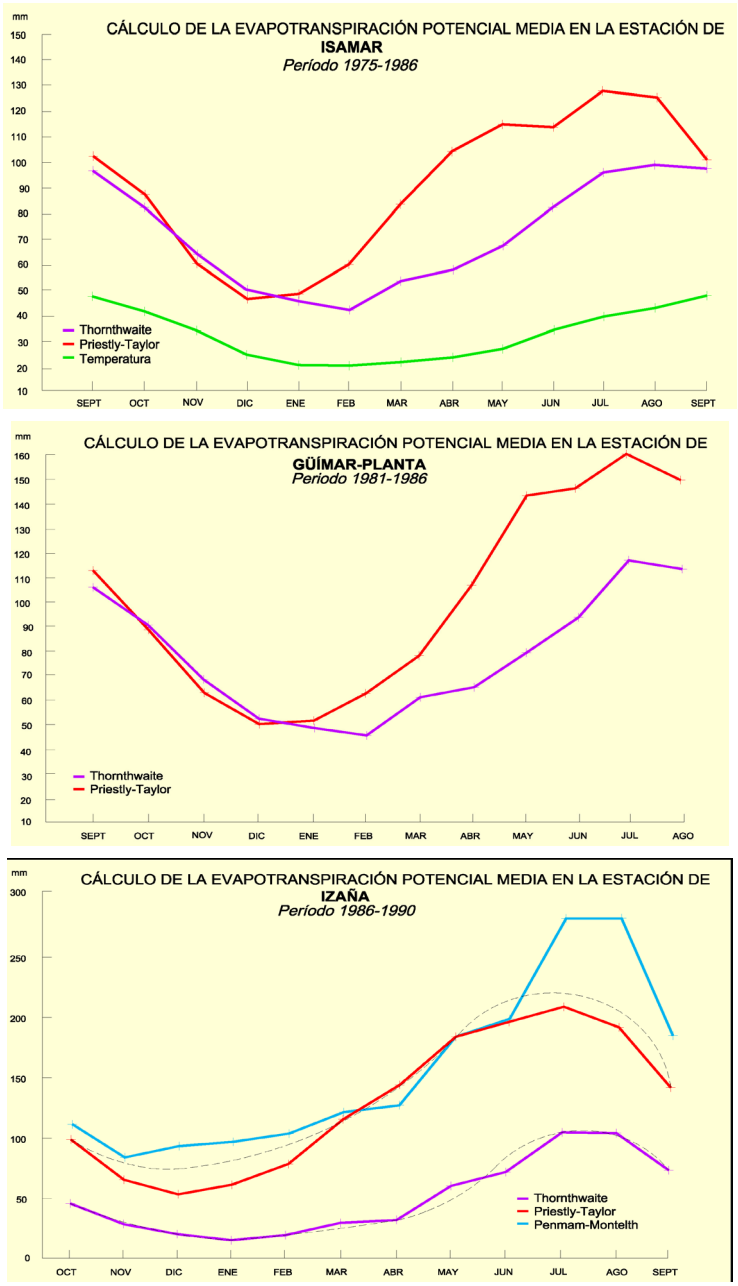


Figura 74. Contraste de métodos para el cálculo de la ETP

En aquel momento, se estimó que lo más práctico era optar por un procedimiento mixto que solventara las limitaciones de unas con las posibles eficiencias de las otras.

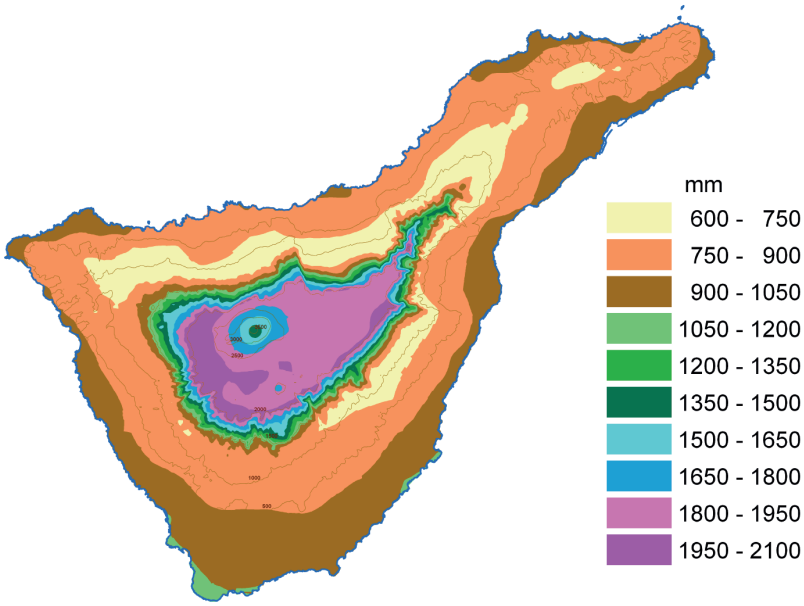


Figura 75. Mapa de ETP de Thornhwaite corregida para hacerla equivalente a la de Penman-Monteith

XI.3.4. De la fórmula de Penman-Monteith

La cantidad de agua evapotranspirada depende de diversos factores asociados a:

- ✓ El **Clima**: precipitación, temperatura del aire, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento.
- ✓ La **Vegetación**: tipo de cubierta vegetal, estado fenológico (en cultivos).
- ✓ La **Edafología**: tipo de suelo, reserva de agua en el suelo, capacidad de retención del suelo.

La fórmula de Penman-Monteith es ciertamente la que contempla mayor número de factores climatológicos; pero su aplicación requiere disponer de estaciones meteorológicas completas que registren datos de las variables citadas. En Tenerife, hasta hace poco más de tres lustros apenas se disponía de una decena de este tipo de estaciones, casi todas localizadas en zonas próximas a la costa. A caballo entre el final del siglo pasado y el inicio del presente el Área de Agricultura del Cabildo a través de su órgano AGROCABILDO inicia la implantación de su red meteorológica que en la actualidad cuenta ya con 57 estaciones totales; a éstas hay que añadir las de la AEMET (14), el ICIA (15), el PPNT (5) y el ITER (2). No obstante, todavía queda sin cobertura alguna zona concreta, como es la cumbre del Valle de Icod. En estos casos, la ETP puede deducirse por Thornhwaite aplicando a continuación un coeficiente corrector –en función de la localización de la estación y del mes del año– que lo aproxime al que se deduciría por la fórmula de Penman-Monteith.

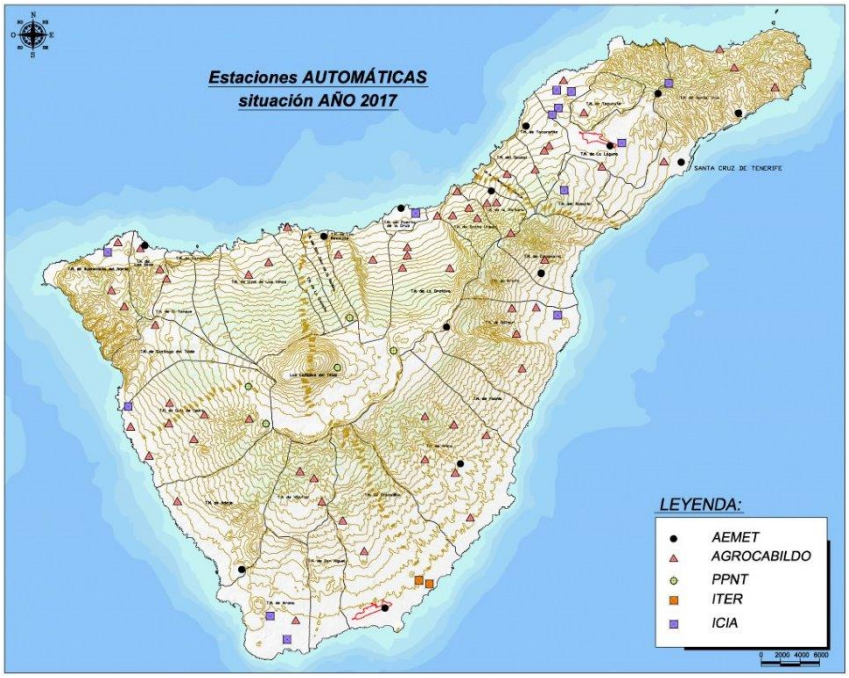


Figura 76. Distribución actual (2017) de la red de estaciones meterológicas «completas

XI.3.5. Distribución temporal y territorial de la ETo y la ETc

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA MEDIA													
ETP	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	**AÑO**
mm	71	72	99	107	130	140	160	157	117	100	69	71	**1293**
hm3/año	**144**	**147**	**201**	**218**	**265**	**285**	**326**	**319**	**238**	**204**	**140**	**144**	**2631**

Tabla 19. Distribución en el tiempo de la Evapotranspiración de Referencia media en Tenerife

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO O POTENCIAL MEDIA													
ETP	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	**AÑO**
mm	48	54	73	76	86	97	121	115	87	64	50	45	**916**
hm3/año	**98**	**110**	**149**	**155**	**175**	**197**	**246**	**234**	**177**	**130**	**102**	**92**	**1864**

Tabla 20. Distribución en el tiempo de la Evapotranspiración Potencial o de Cultivo en Tenerife

La diferencia entre los valores de la ETo y la ETc radica en la aplicación sobre la primera de los coeficientes de cultivo (Kc), pero sobre todo en el coeficiente reductor a aplicar a Kc en función de la densidad de vegetación natural.

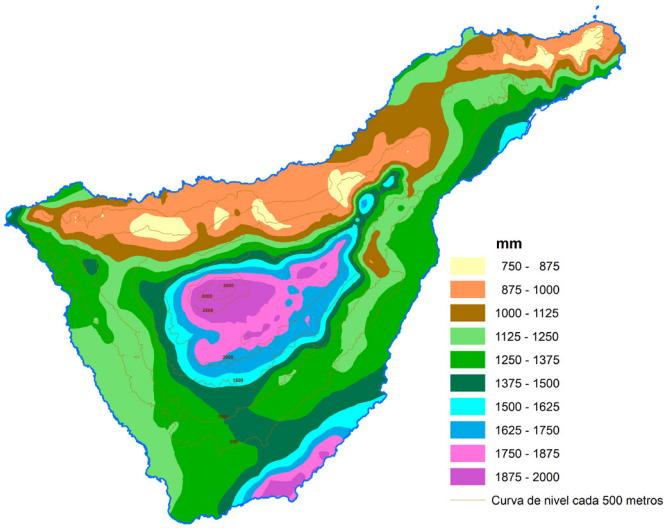


Figura 77. Distribución territorial de la Evapotranspiración de Referencia (ETo: Penman-Monteith)

La destacada participación de la Radiación solar y de la Velocidad del viento en al hacer el cálculo de la ETo se pone de manifiesto en los dos núcleos con mayores valores de esta variable: las muy iluminadas Cañadas del Teide (ver fig. 47) y la muy ventosa costa de Arico-Granadilla (ver fig. 45), respectivamente.

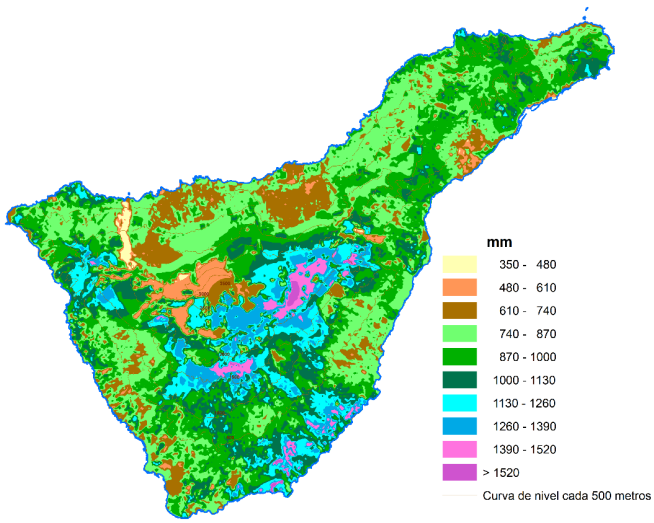


Figura 78. Distribución territorial de la Evapotranspiración de Cultivo o de Vegetación (ETc)

Al afectar la ETo con el coeficiente de cultivo (Kcc) —corregido con la densidad de vegetación— las isolíneas de Evapotranspiración Potencial (ETc) se adaptan al tipo de cobertera: suelos, cultivos y vegetación natural según densidad.

XI.4. FACTORES QUE AFECTAN A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

En la evaluación del agua de lluvia que retorna a la atmósfera por evapotranspiración la ETP no es precisamente el factor más influyente. En la isla, son varias las circunstancias determinantes en los resultados y que vienen inducidas por las singularidades litológicas, climatológicas, edáficas, … insulares; todas ellas contempladaas durante el proceso de construcción del MHSup.

XI.4.1. La permanencia del agua de lluvia en superficie

XI.4.1.1. En los suelos de la isla en general

En el medio continental al establecer el «balance en el suelo» (en adelante BAS) se toma el mes como período de cálculo sin que, por lo general, se deriven consecuencias trascendentales en los resultados. En las islas, las lluvias suelen ser intensas y por lo general de pocos días de duración, limitándose la permanencia del agua en la superficie del terreno a muy cortos períodos; a lo que además contribuyen la alta permeabilidad de las formaciones rocosas, que faculta una rápida infiltración, así como la topografía del terreno que induce una rápida evacuación de las aguas hacia el mar cuando existe escorrentía. Es decir, la fuerza evaporante limita su actuación a unos pocos días al año, que además suelen ser los menos soleados y los más fríos y húmedos, debilitándose esos días el componente energético de la evaporación. Por el contrario, la acción transpiradora de la vegetación estará activada de continuo allá donde ésta exista y el suelo disponga de agua para alimentar sus raíces. Por todo ello, se estimó necesario:

- ✓ Adoptar el **día** en el proceso de cálculo del «BAS»
- ✓ Analizar por separado la evaporación y la transpiración; esta última teniendo en cuenta la reserva de agua en el suelo superficial

XI.4.1.2. En las Cañadas del Teide



Figura 79. Manto de lavas al pie de Pico Viejo

El caso más extremo y además más convincente se nos ofrece en la extensa caldera de las Cañadas del Teide. Los mantos de lava que ocupan gran parte de su superficie apenas ofrecen resistencia a la infiltración del agua de lluvia hacia el subsuelo; es común comentar que *–no llegan a formarse ni charcos–*. El suelo sólo permanece humedecido durante los días que dura el temporal y poco más; días en los que, además, el sol se encuentra oculto por las nubes. En consecuencia la evaporación tiene un bajo rendimiento. Por otro lado, tendrán que pasar miles de años para que se genere un suelo donde establecer su hábitat algún tipo de vegetación. En este paraje la transpiración apenas tiene significación.

EJEMPLO

En el mes de noviembre la ETP, dentro del recinto de Las Cañadas, alcanza un valor medio de 3,5 mm/día, equivalentes a 105 mm/mes. Por otro lado, no son extrañas, en ese mes, registros diarios de lluvia de alrededor de 100 mm.

Imaginemos que, sobre el campo de lava de la imagen adjunta, en el mes de noviembre se produce un único episodio diario de lluvia en el que se registran 90 mm (PC = 90); no ha lugar la lluvia horizontal (PAN = 0) ni tampoco se generan aguas de escorrentía (E = 0); el agua que es capaz de retener el suelo es también muy baja (RI = 10 mm).

El «BAS» a **escala mensual** contemplaría los siguientes apartados:

Durante ese mes la evapotranspiración es capaz de absorber 105 mm (ETP = 105)

El agua disponible para alimentar la Escorrentía (E) la evapotranspiración (ET) y la Infiltración (I) –en ese orden– es la lluvia recibida más la contenida como reserva en el suelo: PC + PAN + RI = 90+ 0 + 10 = 100 mm

Sobre esa superficie no se generan aguas de escorrentía: E = 0 mm

Por tanto, toda el agua queda disponible para consumo de la ET y de la I

Dado que la cantidad de agua que potencialmente volvería a la atmósfera (ETP = 105 mm) supera la disponible (100 mm), ésta sería consumida por completo por la evapotranspiración (ETR = 100 mm).

En consecuencia: **No habría quedado agua para infiltrase** (I= 0 mm)

No es lógico que de un aguacero que descarga en un día 90 mm sobre una superficie tan permeable como los mantos de lava no se derive hacia el subsuelo ni una gota de agua.

Lo razonable es admitir todo lo contrario; es decir, que la mayor cantidad de agua de lluvia recibida en superficie se infiltra; y además rápidamente, con lo que la acción evapotranspirante se limita al agua de reserva (10) y a la pequeña porción del agua de lluvia que la evaporación haya sido capaz de apropiarse durante el tiempo que la superficie del suelo ha permanecido húmeda por el aguacero o por ascenso capilar desde la primera capa del subsuelo.

El BAS a **escala diaria** habría deducido un valor de Infiltración superior a **75** mm

Paradójicamente, dentro del gran circo de Las Cañadas también ocurre el fenómeno contrario. Las denominadas «7 cañadas», asentadas al pie de la pared que circunda el recinto, reciben las aguas de escorrentía generadas en los materiales fonolíticos en los que se sustenta dicha pared; durante siglos, los depósitos de los sedimentos que han formado parte de esas escorrentías han ido levantando un suelo de baja permeabilidad, rellenando el piso original de esas siete cuencas endorréicas. Las aguas encuentran acomodo para permanecer almacenadas hasta varias semanas después de la ocurrencia de lluvias que hayan sido más que «moderadas».

En estos receptáculos, la transpiración tampoco es significativa debido a la práctica inexistencia de vegetación. Sin embargo, la evaporación dispone de los mejores condicionantes para hacerse efectiva pues a los factores climáticos favorables (insolación y velocidad del viento) se une su excelente «campo de acción», que no es otro que la superficie en lámina libre de estas esporádicas «lagunetas».



Figura 80. Cañada de la Hoya del «Montón de Trigo». La lengua de lavas se prolonga bajo los limos

Al respecto, debe tenerse en cuenta que la lámina de agua expuesta a los rayos solares varía, en el tiempo; bien disminuyendo de superficie conforme la infiltración y la evaporación hacen descender el nivel de agua embalsada o bien incrementándose si durante el tiempo de permanencia del agua se producen nuevas lluvias. La resolución del BAS es compleja y debe abordarse asumiendo:

- Decrementos e incrementos del volumen de agua embalsado y, en consecuencia, de la superficie de la lámina de agua
- Permanencias del agua, en estos cuencos, superiores al mes

Circunstancias todas ellas que se contemplaron en el modelo conceptual que dio origen al MHSup y que se exponen con más detalle en el bloque 5º de este libro. Dentro, pues, del recinto de Las Cañadas comparten estancia parcelas de terreno con consecuencias hidrológicas extremas; por un lado, los mantos de lava, donde la infiltración es máxima en detrimento de la evapotranspiración; y por otro, las «lagunetas» donde el agua de lluvia se la reparten ambas variables hidrológicas.

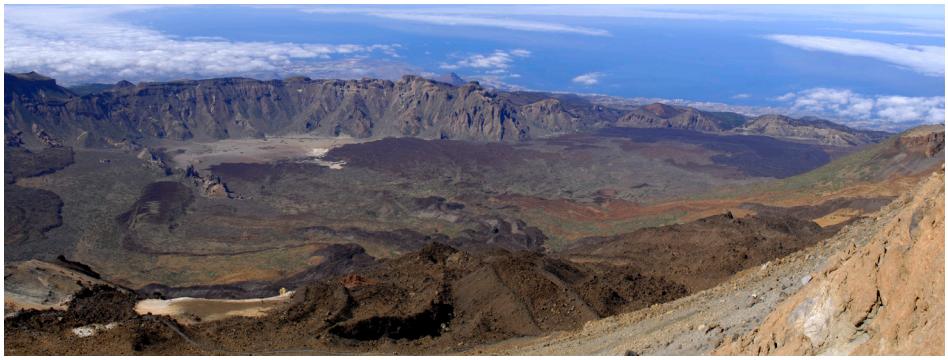


Figura 81. Las Cañadas del Teide (CIATF).
Al pie de la pared, por delante de los mantos de lava, se adivina una de las «7 cañadas»

XI.4.2. La participación de lluvia horizontal en el BHI

La presencia de los vientos alisios proporciona a las islas, además de un clima benigno, la disponibilidad de un recurso hídrico complementario a la lluvia convencional, como lo es sin duda la denominada «lluvia horizontal». El suelo del bosque es su receptor y la vegetación su principal beneficiaria. En cualquier análisis hidrológico, la no consideración del agua de niebla supondrá que su cometido, en este caso alimentar la ETR, la habrá cubierto un aporte equivalente de lluvia convencional al que se le desvía de su verdadero destino. Por tanto, en el «BAS» debe ser partícipe activo la «**lluvia horizontal**»

XI.4.3. La gran variedad edafológica insular

ESTACIÓN	cota	Cobertera	CRT	CR
Icod	200	cultivo	89	32
Izaña	2387	retamar, codezal	10	4
La Laguna	550	sabinar	180	75
S/C de Tenerife	37	urbana	0	0
S/C de La Palma	10	cardonal	102	50
Las Palmas	8	urbana	0	0
Tamadaba	900	pinar	232	110
Valleseco	1000	laurisilva	473	225

Tabla 21. Capacidad de Retención de agua por el suelo contiguo a las estaciones bioclimáticas que, relativas al Archipiélago Canario, se contemplan en el MAPA DE VEGETACIÓN DE ESPAÑA

A principios de los años noventa se disponía del MAPA DE LAS SERIES DE VEGETACION DE ESPAÑA editado en 1.987 por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) a través de ICONA, en el que se incluían varios diagramas bioclimáticos con información, entre otras, de la Capacidad de Retención Típica

(CRT) del suelo estudiado. Las hojas 29, 30 y 31 de dicho mapa correspondían al Archipiélago Canario. A partir de la CRT que le correspondía al entorno de cada estación se dedujo la Capacidad de Reserva (CR) asimilable al suelo de dicho entorno. La muestra era muy corta en número de estaciones –cuatro en esta isla– y en variedades de suelo de cobertera. Era preciso pues disponer de un ábaco de valores más acorde con la realidad edáfica de la isla.

XI.4.4. Medidas correctoras

Cada una de las «incidencias» citadas en los apartados precedentes se ha ido resolviendo conforme avanzaba el proceso de calibración del MHSup:

- Prácticamente iniciada la construcción del modelo conceptual se acordó la adopción del **día** así como la evaluación, por separado, de la evaporación y la transpiración, en el establecimiento del BAS.
- Más adelante, el CIATF encargó al Departamento de Edafología y Geología de la ULL la elaboración de la *Cartografía Edáfica* de la isla que aportó, entre otros, información relativa a la **Tasa de Infiltración Básica** (TIB) y a la **Capacidad Máxima de Retención de Agua** en el suelo (RX) cuyos valores se ofrecen de 10 en 10 cm. hasta una profundidad, según casos, de entre 50 y 80 cm. La construcción de ambos mapas tuvo el soporte de **182** puntos de muestreo representativos de los distintos suelos de la isla.

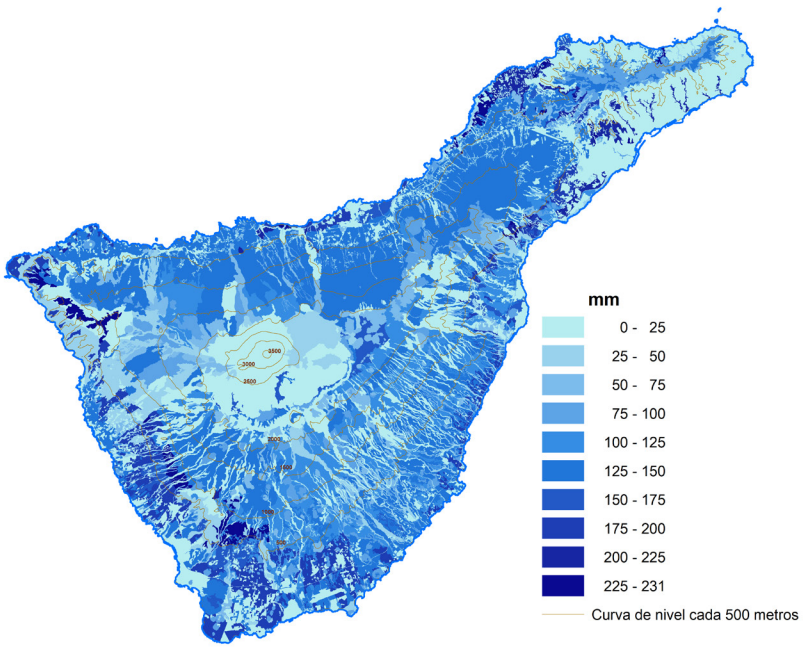


Figura 82. Cartografía Edáfica. Mapa de la Capacidad Máxima de Retención de Agua – ULL

En el texto del documento que acompaña la citada Cartografía Edáfica[43] se hace el siguiente comentario:

Por primera vez se ha planteado en Canarias un estudio de los regímenes térmicos e hídricos con medidas directas del suelo. La selección de las zonas de estudio para la definición de estos regímenes se hizo de tal manera que estuvieran representadas todas las variantes posibles en la isla, atendiendo esencialmente a la altitud y a la orientación de las pendientes

- La incorporación de esta información al procedimiento, mucho más detallada que la que venía a sustituir, junto a otras circunstancias, llevó a reconsiderar el tamaño original (1.000 x 1.000 m^2) de las celdas de la retícula que representan el territorio insular, adoptando el actual: 200 x 200 m^2.
- A principio de este siglo se introdujo en el procedimiento la evaluación empírica de la lluvia horizontal que, hasta esa fecha, se estimaba de forma indirecta.
- La última mejora ha consistido en introducir en el procedimiento los métodos de Penman-Monteith y Haergraves para el cálculo de la ETP

XI.5. DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

XI.5.1. Evaluación

La ETR es la evapotranspiración que realmente se produce en las condiciones de humedad existentes en el momento de su evaluación; además de los factores inherentes a la ETP, con la ETR entran en juego la precipitación, si la ha habido, ya haya sido convencional (PC) y/o de agua de niebla (PAN), la escorrentía (E) y la reserva de agua disponible en suelo para consumo de la vegetación (R).

Según que el déficit de precipitación en el suelo (PC + PAN – E) sea mayor, igual o inferior a la ETP el valor de la ETR coincidirá o no con el de la ETP; planteándose diversas alternativas en las que además interviene la R o el número efectivo de días evaporantes (NEV), sobre todo si se trata de cuencas endorréicas[44].

XI.5.2. Distribución temporal de la ETR

La cantidad de agua de lluvia evapotranspirada (ETR) correspondiente al año medio del período histórico, es de unos **287** mm/año; lo que supone el **61**% de la precipitación. El correspondiente a la situación «actual» es de **270** mm/año; equivalente al **64**% de la precipitación.

---

[43] CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA ISLA DE TENERIFE CON ESPECIAL INCIDENCIA EN SU FUNCIONAMIENTO HÍDRICO - DPTO. DE EDAFOLOGÍA Y GEOLOGÍA – Universidad de La Laguna – 2007.

[44] En el bloque 5º se describe el proceso de cálculo con detalle.

EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL MEDIA														
Período	**ETR**	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	**AÑO**
1944/45 --	mm	31	33	40	35	24	13	6	6	12	26	31	30	**287**
2014/2015	hm3/año	**63**	**67**	**81**	**71**	**49**	**26**	**12**	**12**	**24**	**53**	**63**	**61**	**584**
1985/86 --	mm	28	30	38	32	20	11	5	7	12	28	29	30	**270**
2014/2015	hm3/año	**57**	**61**	**77**	**66**	**41**	**23**	**11**	**14**	**24**	**56**	**59**	**60**	**549**

Tabla 22. Distribución en el tiempo de la Evapotranspiración Real media

Del contraste de la tabla adjunta con su equivalente de la ETP se deduce que los meses con mayores valores de ETR coinciden precisamente con los que acusan menor ETP; y al contrario, en primavera-verano los altos valores de la ETP apenas se traducen en transmisiones de agua a la atmósfera, pues no hay agua que transmitir. Quiere ello decir que el elemento fundamental que decide con más peso la cantidad de agua evapotranspirada es el agua disponible en el suelo, bien procedente de la lluvia o bien de la reserva que éste almacena para sustento de las plantas. La ETP no es sino un elemento marginal que participa en el BAS indirectamente, limitando por encima el valor de la ETR

XI.5.3. Distribución territorial de la ETR

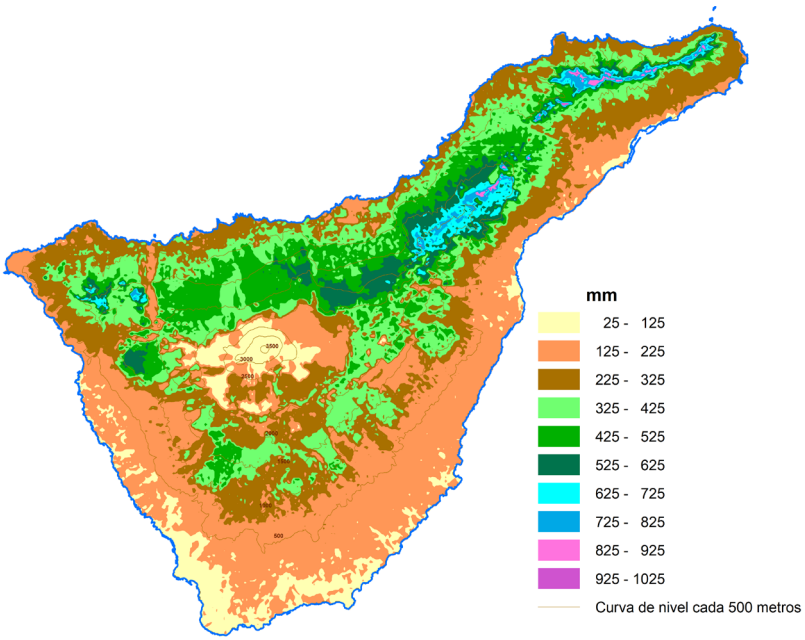


Figura 83. Distribución territorial de la Evapotranspiración Real media en la isla de Tenerife.

El mapa de la distribución territorial de la ETR confirma también la aparente «correlación» entre ésta y la precipitación.

XI.6. DE LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO EDÁFICO

XI.6.1. El ciclo anual del agua de reserva

Cuando se inicia el año hidrológico las reserva de agua en el suelo para consumo de la vegetación se encuentran prácticamente al límite; a finales del mes de agosto ya se ha consumido prácticamente todo el agua almacenada. Sólo en aquellas zonas que en el período estival se han visto favorecidas por la precipitación horizontal mantienen agua en el subsuelo. Tal es el caso de las crestas de los macizos de Anaga y Teno así como la de la dorsal «este» (apenas perceptibles en la imagen)

Conforme se suceden las lluvias del otoño−invierno, el suelo se va apropiando del agua infiltrada hasta tener satisfecha su capacidad máxima de almacenamiento. Al final del mes de enero se alcanza ese máximo (64 hm^3) y a partir de ese momento la disminución paulatina de las lluvias obliga a la vegetación a nutrirse de las reservas acumuladas que las devuelve a la atmósfera a través de la transpiración.

VARIACIÓN DEL AGUA DE RESERVA EN EL SUELO														
Período	**ETR**	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	**AÑO**
1944/45 --	mm	7	15	9	2	-3	-5	-8	-9	-6	-2	0	0	**0**
2014/2015	hm3/año	**14**	**30**	**17**	**4**	**-6**	**-9**	**-15**	**-18**	**-12**	**-4**	**0**	**0**	**0**
Agua	mm	7	22	30	32	29	25	17	8	2	0	0	0	**32**
acumulada	hm3/año	**14**	**44**	**61**	**65**	**59**	**50**	**35**	**16**	**4**	**0**	**0**	**0**	**65**

Tabla 23. Variación en el tiempo del agua de Reserva en el suelo.

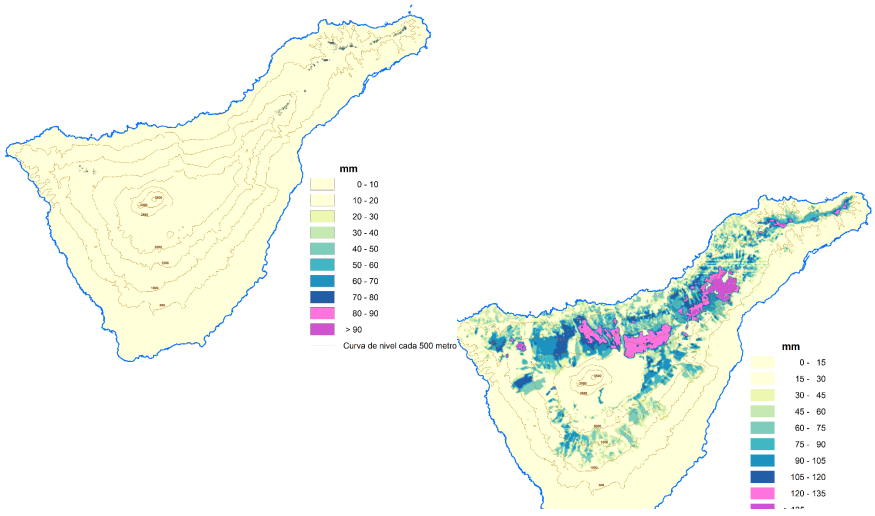


Figura 84. Distribución del agua de Reserva en el suelo en los meses de agosto y enero.

CAPÍTULO XII
LA INFILTRACIÓN

XII.1. EL AGUA EN EL SUELO. CONCEPTOS

*Se entiende por **infiltración** el volumen de agua que procedente de las precipitaciones (a veces también de los ríos o la recarga artificial), en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes.* (E. Custodio y M.R. Llamas – 1976).

Si la cantidad de agua de lluvia que permanece en el suelo sin ser evaporada es igual o inferior a la capacidad de infiltración de éste, toda ella penetra a través de sus poros, iniciándose así el proceso de infiltración; caso contrario, sólo se infiltrará la cantidad equivalente a dicha capacidad.

XII.1.1. El agua de la Capa Edáfica

Parte o la totalidad del agua infiltrada quedará retenida por fuerzas capilares en el subsuelo más superficial (suelo edáfico). La cantidad de agua retenida dependerá del estado de humedad del suelo, limitada superiormente por su «capacidad de campo» (CC); concepto este que representa el agua que es capaz de retener el suelo, una vez cesada la lluvia y la percolación del agua infiltrada. La «capacidad de retención» del suelo (CR) es un concepto análogo al de CC pero expresado en volumen; multiplicando ésta por la densidad aparente es posible deducir aquella.

Por otro lado, el «punto de marchitez» (PM) es el límite inferior de contenido de humedad de ese suelo a partir del cual las raíces de las plantas no tienen fuerza de succión suficiente para extraer el agua que les rodea.

La diferencia entre ambos conceptos es el «agua útil» (AU) disponible para el aprovisionamiento de las raíces de las plantas: AU = CC – PM

XII.1.2. El agua de la zona No Saturada

El agua no retenida descenderá por efecto de la gravedad –percolación– hasta alcanzar la zona saturada. Tendrá pues que superar la zona de «tránsito» que media entre la zona edáfica y el denominado «nivel freático» (NF), el cual constituye el techo de la mentada zona saturada y se encuentra a la presión atmosférica.

XII.1.3. El agua de la franja Capilar

La denominada franja capilar se localiza a caballo entre la zona no saturada –justo al final– y la saturada –justo encima–. Se trata del estrato de terreno hasta donde es capaz de ascender por capilaridad parte agua de la zona saturada. Por su condición de cuasi saturada se le asocia a la primera, de la que forma parte. Su altura es variable –entre unos pocos centímetros y un par de metros – dependiendo de la granulometría del suelo.

Cuando el nivel freático se encuentra relativamente cerca de la superficie del terreno el agua de esta franja capilar puede forma parte del proceso evapotranspirante que se inicia con la succión del agua por las raíces de las plantas.

XII.1.4. El agua de la zona Saturada

El agua que se encuentra por debajo del nivel freático recibe el nombre de agua freática y se define *como la masa de agua que existe en un suelo en el que todos los poros están saturados de agua*. El techo de la zona saturada es pues la superficie freática y el inferior suele serlo un estrato de muy baja permeabilidad al que en Tenerife se conoce como «zócalo impermeable».

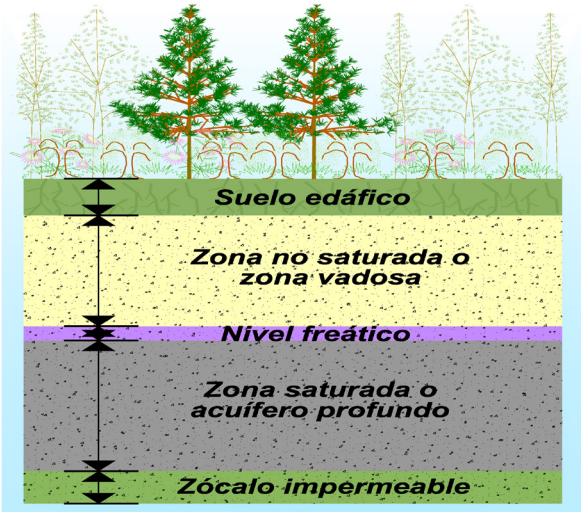


Figura 85. Zonificación del subsuelo.

XII.2. EL AGUA DE RECARGA

Es la parte de agua infiltrada que alcanza la zona saturada pasando a formar parte del gran reservorio de agua subterránea que constituye el acuífero profundo.

XII.2.1. Factores determinantes

En general, el proceso de recarga, e incluso la recarga en sí, dependen de diversos factores:

✓ Climatológicos:

- A mayor precipitación más agua de infiltración susceptible de convertirse en agua de recarga.
- La cantidad de agua evapotranspirada, y por tanto detraída a la infiltración, depende de la temperatura y humedad del aire, de la velocidad del viento y de la radiación solar.

✓ Geomorfológicos:

- La roca de cobertera y la pendiente del terreno, entre otros, son factores desequilibrantes entre infiltración y escorrentía, actuando a favor de una u otra según situaciones.

✓ De uso del suelo:

- Las superficies asfaltadas o las rocas cuasi impermeables y, por otro lado, las superficies prácticamente desprovistas de suelo, como los mantos de lava más recientes, marcan las menores y mayores capacidades de infiltración. Entremedias, los eriales, los terrenos de cultivo, los bosques,….

✓ De la vegetación:

- La profundidad y la densidad radicular determinan el espesor y el volumen del suelo edáfico y a su vez la cantidad de agua que éste retiene para consumo de la vegetación

✓ Edafológicos:

- La velocidad de infiltración del agua a través del suelo depende, entre otros, del tipo de estructura y de la capacidad de retención de ese suelo.
- La cantidad de agua no retenida por el suelo edáfico que desciende hacia la zona saturada, depende del estado de humedad del suelo en el momento de la lluvia.

Salvo con este último factor, al que dedicamos más adelante un nuevo apartado, con los restantes, comunes en las regiones continentales, no vamos a profundizar; pero sí vamos a comentar otros cuatro que estimamos más propios de nuestra particular hidrología insular:

1. El espesor de la zona no saturada.
2. La participación directa o indirecta de la lluvia horizontal en la recarga.
3. El fenómeno de infiltración en cauces.
4. Las cuencas endorréicas de Las Cañadas del Teide.

Factores éstos que, junto con los más generales, determinan la variabilidad en el tiempo, en el espacio y en la procedencia del agua de recarga.

XII.2.1.1. El espesor de la zona «no» saturada

Hasta mediados de los años veinte del pasado siglo la superficie freática se encontraba relativamente próxima a la del terreno en gran parte de la isla. Con la explotación de las aguas subterráneas, iniciada por esas fechas, el nivel freático ha descendido en algunas zonas más de 500 metros respecto de su posición original; incrementándose en la misma medida la extensión de la zona de tránsito; circunstancia ésta ya comentada en el apartado dedicado a los Ríos de Tenerife.

La lejanía de la zona capilar respecto de la edáfica impide que el agua de aquella pueda complementar la de esta última en situaciones de déficit hídrico.

En el reservorio de Las Cañadas

El Cabildo Insular de Tenerife ejecutó a comienzos de la década de los años noventa del pasado siglo dos sondeos profundos en Las Cañadas del Teide, donde se localiza uno de los principales reservorios de agua subterránea de la isla. Uno de estos sondeos, el denominado de Majúa (S-1), emboquillado a 2.264 m.s.n.m. se perforó hasta los 505 m en la zona central, al sur del Edificio Teide-Pico Viejo. El espesor de la zona de tránsito, vadosa o no saturada es de alrededor de **450** metros. Se le equipó con una Estación de Adquisición de Datos (EAD) que, entre otros, viene registrando en continuo la posición del nivel freático.

En octubre de 2006 el CIATF presentó al III Congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente, celebrado en Zaragoza, la comunicación: *Evolución cuantitativa del sistema acuífero de Tenerife*[45], dentro de la cual, se contrastaban los niveles medidos en el sondeo, con los datos de precipitación e infiltración mensuales –deducidos en el MHSup– relativos al período 01/2000-04/2010. Período éste durante el cual el volumen anual de agua extraída de dicho reservorio por las galerías que lo explotan había permanecido constante (12 hm^3/año).

Generalizando las conclusiones de dicha comunicación, en el acuífero que subyace bajo el suelo del recinto de Las Cañadas sucede que:

- Los largos recorridos del agua hasta alcanzar la zona saturada implican desfases superiores a los dos meses entre el suceso de las lluvias y el de la «recarga».
- Antes de que ese agua contacte físicamente con el NF, la que ocupa la franja de tránsito es arrastrada, por efecto émbolo, hasta el interior de la zona saturada. Se inicia la recarga del acuífero.
- A continuación, el agua infiltrada alcanza también la zona saturada, completándose la recarga.
- Parte del agua infiltrada, en concreto el agua de «cola», quedará colgada temporalmente en los poros de la franja de tránsito.

XII.2.1.2. La participación de «lluvia horizontal» en la Recarga

En los suelos que se benefician de la Precipitación de Agua de Niebla (PAN), cuando reciben la lluvia directa o convencional (PC) ésta encuentra satisfecha toda o gran parte de la capacidad de almacenamiento, con lo que es de imaginar que por efecto émbolo reemplazará y desplazará esa agua almacenada hasta alcanzar algún acuífero. Incluso en las zonas donde el período de generación

[45] Isabel Farrujia de la Rosa, Juan José Braojos Ruiz y José D. Fernández Bethencourt.

de este recurso se prolonga varios meses, es posible que haya alcanzado por sí sólo la zona saturada, con lo que un suceso de lluvia directa tendrá una rápida respuesta en el acuífero.

Existe pues un incremento de la recarga como consecuencia de la PAN.

XII.2.1.3. La Infiltración en o sobre cauces

En alzado, las formaciones volcánicas insulares se apilan según series de antigüedad decreciente, y además, dentro de una misma serie se alternan masas rocosas de distinta litología que generalmente se disponen en capas de poco espesor entre las que suelen intercalarse otras capas de materiales mucho más sueltos.



Figura 86. Alternancia de coladas de materiales de distinta estructura.

Con esta disposición, es fácil encontrar cauces cuyos lechos son de una naturaleza diferente a la de la cobertera de sus laderas vertientes. El caso más común lo presentan los cauces de suelo traquibasáltico; en éstos, la erosión a que les someten las corrientes de escorrentías ha dejado al descubierto, en más de un punto, materiales escoriáceos de alta permeabilidad a los que se asocian grandes **hoyas** que, haciendo de sumideros, atrapan parte e incluso la totalidad de las avenidas, según la entidad de éstas.



Figura 87. Dos saltos donde ha desaparecido la roca de caja, aflorando materiales sueltos.



Figura 88. Al pie de los salto y en sus entorno es común que crezca una densa vegetación.

Lo más probable es que sólo una pequeña porción del agua infiltrada a través de estos sumideros proceda de escorrentías locales y que los mayores caudales

procedan de terrenos que, cercanos a la cabecera de cuenca, cuentan no sólo con mayores registros de lluvia sino con suelos de cobertera menos permeables. Por tanto, en la evaluación de la infiltración es obligado hacer el **seguimiento del flujo de las escorrentías** a través de los cauces, al objeto de averiguar cuanta de esa escorrentía se queda en el camino a causa del tantas veces mencionado *fenómeno de infiltración en cauces*.

Por otro lado, aunque es mucho menos frecuente, también ocurre el fenómeno contrario; es decir, que los materiales en los que se excava el cauce sean menos permeables que los de cobertera de cuenca, dando lugar a la reconversión de aguas que inicialmente eran de infiltración en aguas de escorrentía.



Figura 89. Afloramiento de materiales impermeables en un cauce.
La erosión ha dejado al descubierto materiales menos permeables que los de cobertera de la cuenca vertiente. Apenas se producen pérdidas por infiltración en el cauce.

En más de un apartado hemos hecho constar la inexistencia de conexión del acuífero profundo con los cauces de la red de drenaje de la isla y que las únicas aguas subterráneas que acceden hasta éstos proceden de algún acuífero colgado cercano. No obstante, existe otro tipo de aportación subterránea que teniendo un origen similar no se corresponde estrictamente con la de un acuífero.

Después de un suceso de lluvia sobre una parcela con una estructura geomorfológica específica, como la que se nos presenta en la imagen, es previsible que, una vez cesada la escorrentía directa, le lleguen al cauce, por los laterales, aportes

subterráneos procedentes del agua de lluvia recibida e infiltrada en los terrenos adyacentes, la cual en su descenso, ha sido interceptada por la capa impermeable que subyace bajo aquellos y que se extiende más allá del lecho del barranco. Lo normal es que esa agua infiltrada se deslice toda o en parte hasta el cauce, donde acabará circulando como aportación de escorrentía, en este caso, **indirecta**.

Evidentemente, no son estas aguas susceptibles de recargar el acuífero, salvo que en su recorrido, cauce abajo, aparezcan en el piso materiales de mayor permeabilidad y se genere el *fenómeno de infiltración en cauces*.

XII.2.1.4. Las cuencas endorréicas de Las Cañadas del Teide

Las aguas de escorrentía que se generan en su entorno acaban almacenadas en la depresión; una parte de esas aguas es devuelta a la atmósfera por evaporación y el resto se infiltra hacia el subsuelo. Cada «cañada» representa pues un foco de infiltración preferente.

XII.2.2. La Velocidad de Infiltración

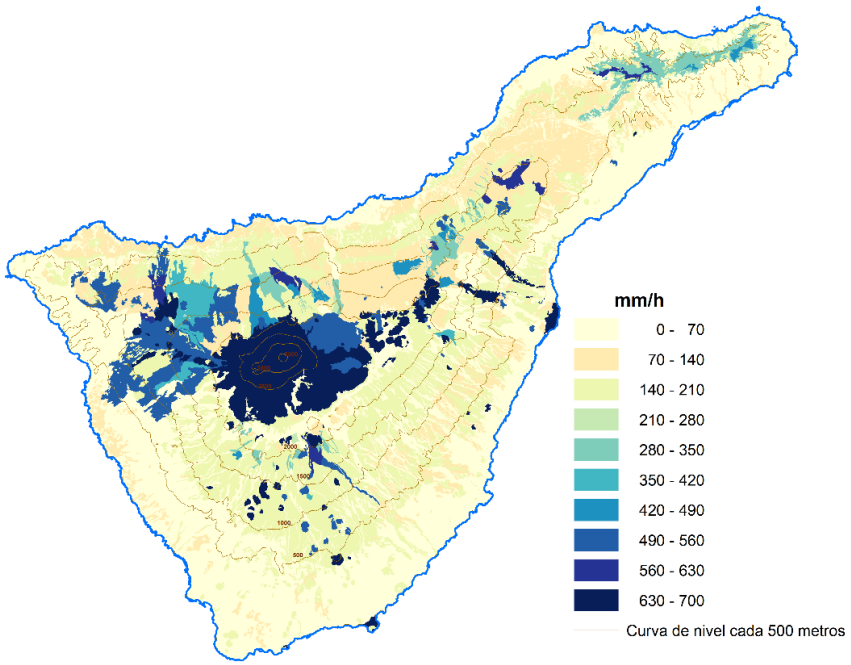


Figura 90. Cartografía Edáfica. Mapa de la Velocidad de Infiltración – ULL.

Se entiende por infiltración el proceso de entrada de agua en el suelo, y por velocidad de infiltración la cantidad de agua que es capaz de entrar en un suelo en cada momento, parámetro que suele disminuir en los primeros tiempos de la medida, sobre todo si el suelo está seco, y tiende a estabilizarse a lo largo del

tiempo. Es un proceso clave ya que determina qué cantidad de agua (de lluvia, riego o vertido) entra al suelo y qué cantidad se convierte en escorrentía. La tasa de infiltración o velocidad de infiltración básica corresponde a la velocidad de infiltración en régimen más o menos estabilizado[46].

La relación entre los valores puntuales del mapa precedente y sus correspondientes en el de la Recarga no es lineal pues esta última depende en gran medida de la mayor o menos cantidad de agua disponible para infiltrarse. La zona de mayor infiltración efectiva coincide, precisamente, con la que recibe mayores aportes de lluvia conjunta: la cumbre de la dorsal Este, donde la lluvia convencional más la horizontal acumulan alrededor de 2.000 L/m^2 al año. Por el contrario, el entorno de la Montaña del Teide, donde se han medido las mayores velocidades de infiltración la precipitación conjunta media no llega a 400 L/m^2/año.

La Velocidad de Infiltración o Tasa de Infiltración Básica (TIB) es partícipe directa en el proceso de evaluación de los distintos umbrales de escorrentía de los suelos de cobertera de la isla.

XII.2.3. Distribución territorial de la Recarga

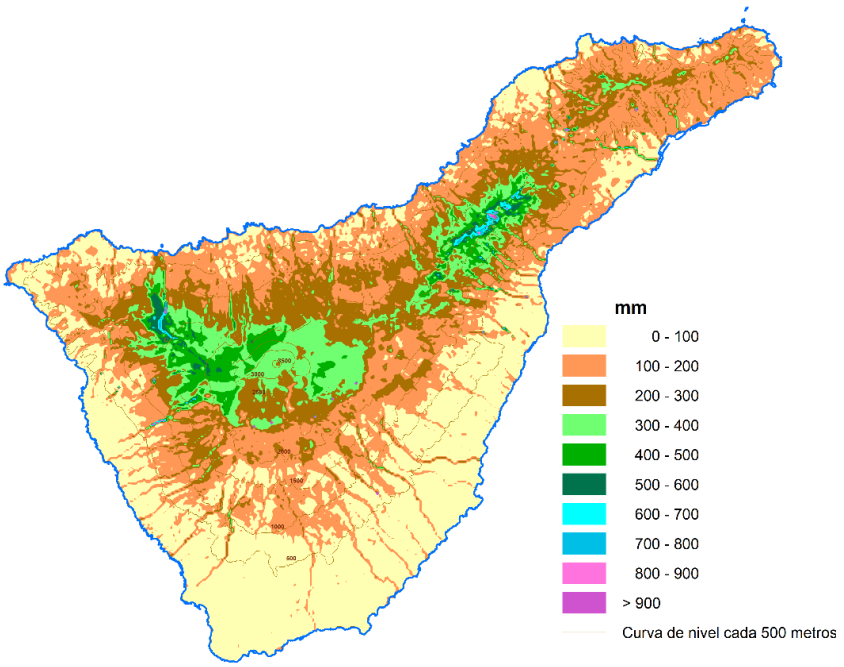


Figura 91. Isolíneas de la Recarga media: 1944/45 – 2014/2015

[46] CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA ISLA DE TENERIFE CON ESPECIAL INCIDENCIA EN SU FUNCIONAMIENTO HÍDRICO - DPTO. DE EDAFOLOGÍA Y GEOLOGÍA – Universidad de La Laguna - 2007

El *fenómeno de la infiltración en cauces* ejerciendo un efecto redistributivo, agrupa o distancia isolíneas de infiltración. Se ha estimado en unos 35 hm^3/año el volumen de agua de lluvia que se infiltra al subsuelo desde los cauces de los barrancos. En el mapa destacan —sobre todo en la vertiente meridional— estas vías de escape de las escorrentías hacia el multiacuífer insular.

En la imagen apenas se distinguen algunos focos de máxima infiltración, como los de la cresta de la dorsal «este». No obstante, aunque no se aprecie en la citada imagen, en la dorsal «oeste» y en la cumbre de Anaga también se localizan núcleos con tasas de infiltración similares; al igual que en las celdas colectoras (celdas «sumidero») de la mayoría de las denominadas cañadas del Teide así como en determinados tramos de cauces de varios barrancos de la vertiente sur.

XII.2.4. Distribución temporal de la Recarga

La recarga histórica insular media se estima en 172 mm/año equivalente a 350 hm^3/año. Definida porcentualmente, es el **37%** de la precipitación total.

La recarga del período «actual» se reduce a 145 mm/año equivalente a 294 hm^3/año, llegando a representar el **34%** de la precipitación.

INFILTRACIÓN EFECTIVA MEDIA														
Período	**I**	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	**AÑO**
1944/45 --	mm	38	28	18	5	1	0	0	0	0	7	30	46	**172**
2014/2015	hm^3/año	**77**	**57**	**36**	**10**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**14**	**60**	**93**	**350**
1985/86 --	mm	26	27	16	3	0	0	0	0	0	6	23	43	**145**
2014/2015	hm^3/año	**53**	**55**	**33**	**7**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**12**	**46**	**87**	**294**

Tabla 24. Distribución en el tiempo de la Recarga.

XII.3. CONSIDERACIONES FINALES

- La Infiltración de las aguas de lluvia y la Recarga al acuífero profundo no son coincidentes en el tiempo; pudiendo existir un retardo entre una y otra de hasta dos meses, dependiendo de la distancia existente entre la superficie del terreno y el nivel freático y la porosidad de esa zona de tránsito.
- La lluvia horizontal participa indirectamente en la Recarga al acuífero profundo y directamente cuando se trata de acuíferos colgados.
- El reparto territorial de la precipitación y el de la Recarga no se asemejan debido a la hetereogeneidad geológica del manto insular y al fenómeno de la *infiltración en cauces*.
- Dicho fenómeno da lugar a «sumideros», por donde el agua de lluvia accede preferencialmente al subsuelo. También son como tales las «lagunetas» de Las Cañadas.

CAPÍTULO XIII
EL CICLO DEL AGUA EN LA ISLA

XIII.1. EL CICLO HIDROLÓGICO

A lo largo del año hidrológico medio del período «histórico» 1944/45-2044/45 la lluvia se distribuye de la forma siguiente:

CICLO HIDROLÓGICO DEL AÑO MEDIO DEL PERÍODO 1944/45-2014/15														
VARIABLE		**OCT**	**NOV**	**DIC**	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**AÑO**
Lluvia Directa	mm	36	72	82	69	57	50	28	11	4	2	3	9	423
PC	hm^3/año	**73**	**146**	**167**	**140**	**116**	**102**	**57**	**22**	**8**	**4**	**6**	**18**	**860**
Lluvia Indirecta	mm	4,3	4,7	5,1	4,7	4,7	4,7	4,8	3,9	2,9	2,6	2,7	3,1	48
PAN	hm^3/año	**9**	**10**	**10**	**10**	**10**	**10**	**10**	**8**	**6**	**5**	**5**	**6**	**98**
Lluvia Total	mm	40	77	87	74	62	55	33	15	7	5	6	12	471
P = PC + PN	hm^3/año	**82**	**156**	**177**	**150**	**126**	**111**	**67**	**30**	**14**	**9**	**12**	**25**	**958**
Derivado a Embalse	mm	0,0	0,3	0,4	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**1,5**
DE	hm^3/año	**0,1**	**0,6**	**0,9**	**0,7**	**0,4**	**0,2**	**0,1**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**3,1**
Flujo de salida al mar	mm	0,2	1,3	2,6	3,3	2,4	1,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5
FSM	hm^3/año	**0,3**	**2,5**	**5,4**	**6,7**	**4,9**	**2,5**	**0,9**	**0,1**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**23**
Escorrentía total	mm	0,2	1,6	3,1	3,6	2,6	1,3	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	13
E	hm^3/año	**0,4**	**3,2**	**6,3**	**7,4**	**5,3**	**2,7**	**0,9**	**0,1**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**26**
Variación Reservas	mm	7	15	9	2	-3	-5	-8	-9	-6	-2	0	0	**0**
VR	hm^3/año	**15**	**30**	**17**	**4**	**-6**	**-9**	**-15**	**-18**	**-12**	**-4**	**0**	**0**	**1**
VRT	hm^3	**15**	**45**	**62**	**66**	**60**	**51**	**36**	**17**	**5**	**1**	**1**	**1**	**66**
Agua de Recarga	mm	7	30	46	38	28	18	5	1	0	0	0	0	172
I	hm^3/año	**14**	**60**	**93**	**78**	**57**	**36**	**10**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**350**
Precipitación eficaz	mm	7,6	30,9	48,6	40,7	31,7	19,2	5,3	-0,1	-0,1	0,4	-0,2	0,0	**184**
PE	hm^3/año	**15**	**63**	**99**	**83**	**65**	**39**	**11**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**374**
Evapotranspiración	mm	26	31	30	31	33	40	35	24	13	6	6	12	287
ETR	hm^3/año	**53**	**63**	**61**	**63**	**67**	**81**	**71**	**49**	**26**	**12**	**12**	**24**	**584**
	%sP	65	40	34	42	53	73	107	161	188	130	105	99	61

Tabla 25. Ciclo hidrológico del año medio del período 1944/45-2014/15 en la isla.

✓ Final del Verano: Inicio del Ciclo.

- Se inicia el año hidrológico en el mes de octubre con las reservas de agua en el suelo prácticamente a cero.

- Con las primeras lluvias otoñales es muy difícil que se generen aguas de escorrentía, pues el contenido de humedad en los suelos es muy bajo.
- La mayor parte del agua infiltrada va a ser retenida en el suelo más superficial (suelo edáfico) para alimentar la Reserva (VR = 15 hm^3) .

✓ Otoño-Invierno: Recarga del Subsuelo.

- Durante los meses de noviembre a enero los suelos se van cargando de humedad hasta alcanzar la Reserva máxima (en enero VTR = **66** hm^3).
- La precipitación eficaz (escorrentía + infiltración) es la más beneficiada, especialmente el agua de recarga a los acuíferos.

✓ Primavera-Verano: Agotamiento de las Reservas.

- El aumento de la temperatura y la carencia de lluvias dan lugar a que la evapotranspiración tenga que complementarse con aguas de la Reserva.
- A partir de mayo la Recarga y la Escorrentía son prácticamente nulas.

XIII.2. EL CICLO TOTAL DEL AGUA

En el esquema adjunto –construido a partir de la resolución del BHI «actual» (1985/86-2014/15) y del Balance Hidráulico del año 2015/2016– se representa el recorrido de los recursos hídricos con que cuenta la isla (convencionales y no convencionales), antes y después de satisfacer las distintas demandas sectoriales.

<u>El agua de Escorrentía superficial se distribuye en tres componentes:</u>

- La mayor parte se infiltra en lo cauces antes de alcanzar el mar (49 hm^3/año).
- Una pequeña porción se capta y se almacena (1 hm^3/año).
- El resto acaba vertiendo al mar (15 hm^3/año).

<u>La Evapotranspiración tiene varios orígenes:</u>

- Atmosférica (548 hm^3/año):
  - ✓ El agua de lluvia evaporada.
  - ✓ El agua de lluvia retenida transpirada a través de las plantas.
- De los recursos Convencionales y no Convencionales procedentes de:
  - ✓ El retorno de riegos:
    - agrícola (59 hm^3/año).
    - campos de golf (2,5 hm^3/año).
  - ✓ Las pérdidas en el transporte y distribución del agua (4 hm3/año).
  - ✓ Las pérdidas por evaporación en embalses(0,5 hm3/año).

<u>El agua de Recarga tiene, igualmente, procedencia:</u>

- Atmosférica:
  - ✓ La lluvia infiltrada que supera la capa edáfica (270 hm^3/año).
  - ✓ La escorrentía de la lluvia infiltrada en los cauces (24 hm^3/año).

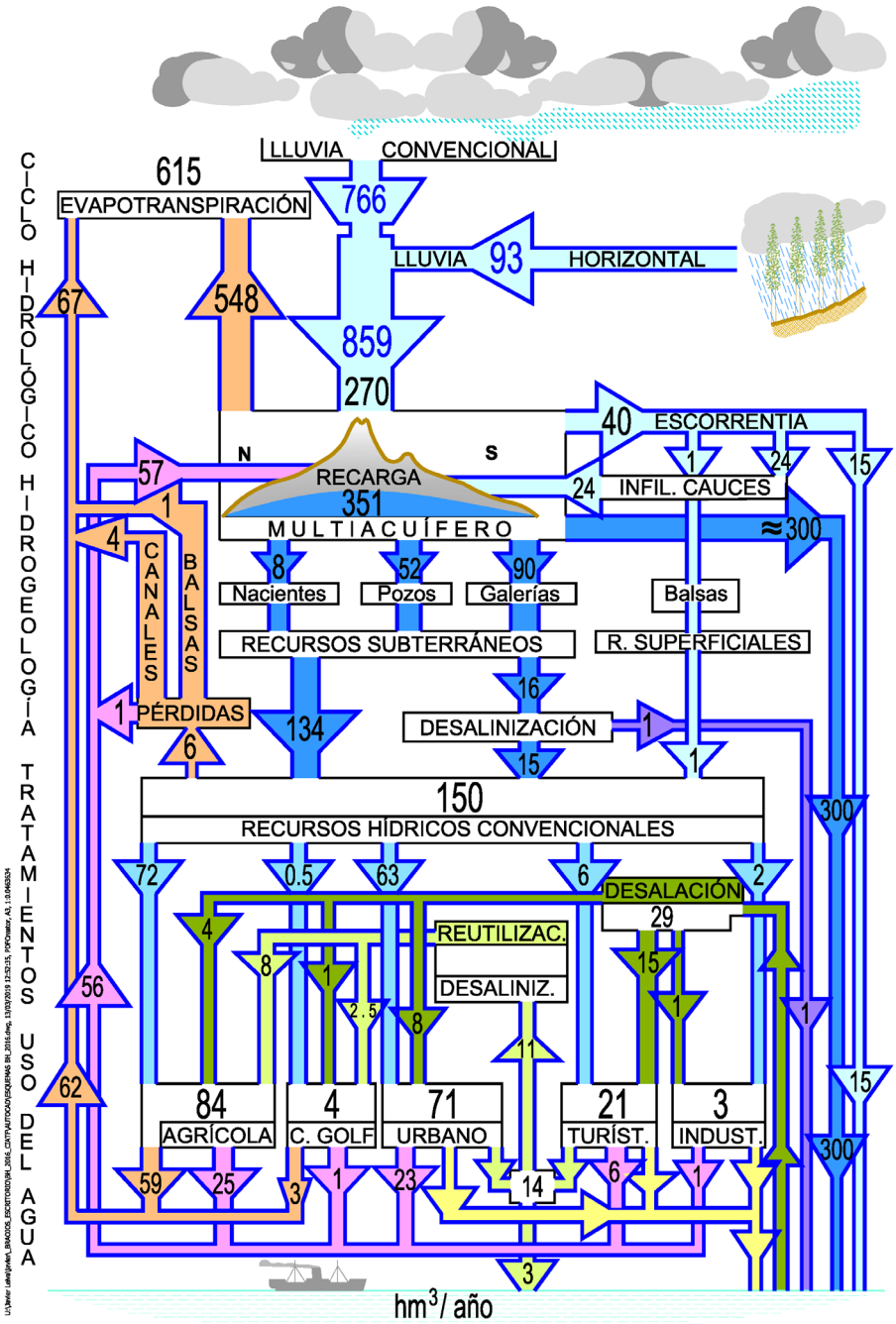


Figura 92. Ciclo completo del agua en la isla de Tenerife.

- de los recursos Convencionales y no Convencionales procedentes de:
  - ✓ el retorno de riegos:
    - agrícola (25 hm^3/año).
    - campos de golf (1 hm^3/año).
  - ✓ las pérdidas de agua en las redes de abastecimiento:
    - urbano (≈23 hm^3/año).
    - turístico (≈ 6 hm^3/año).
    - industrial (≈1 hm^3/año).

El agua que retorna al mar procede de:

- la escorrentía de la lluvia que alcanza la costa (15 hm^3/año).
- la descarga del acuífero profundo (≈ 300 hm^3/año).
- los rechazos (salmuera) de las plantas desalinizadoras (1 hm^3/año).
- las aguas residuales depuradas no reutilizadas (3 hm^3/año).
- las aguas residuales no depuradas (¿? hm^3/año).

Este último término es complicado de evaluar pues no todo el agua puesta en servicio acaba en agua residual.

XIII.3. BALANCE EN EL MULTIACUÍFERO INSULAR

ENTRADAS:

Agua de lluvia: . . . . . 294 hm^3/año
Retorno de riegos (agrícola y campos de golf) . . . . . 26 hm^3/año
Pérdidas en redes (alta y baja) de transporte . . . . . 31 hm^3/año
TOTAL . . . . . **351** hm^3/año

SALIDAS

Manantiales. . . . . 8 hm^3/año
Extracción de aguas subterráneas mediante pozos y galerías . . . . . 142 hm^3/año
Descarga de agua al mar desde el acuífero profundo. . . . . 300 hm^3/año
TOTAL SALIDAS . . . . . **450** hm^3/año

NOTA FINAL: Los mapas y las tablas que jalonan este bloque no son sino algunas de las «salidas» que ofrece el Visualizador de Resultados del MHSup a partir de los modelos climáticos relativos a los períodos 1944/45-2014/15 y 1985/86-2014/15 y la hipótesi de cálculo construida al efecto. Los fundamentos metodológicos que sostienen dicha hipótesis se explicitan con todo detalle en el bloque 5º de este libro, cuyo contenido se centra en la exposición del modelo conceptual que nos ocupa y en la descripción de los distintos procesos de cálculo que comportan la simulación matemática de la hidrología insular.

BLOQUE 3º

LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS EN TENERIFE

CAPÍTULO XIV
LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

XIV.1. ANÁLISIS Y ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

En el año 1944 el Centro Meteorológico Zonal de Tenerife (CMZ) del antiguo INM implementa en Tenerife su red de control; hasta esa fecha la observación meteorológica en continuo se hacía en las cuatro estaciones históricas: SANTA CRUZ (1865), LAGUNA INSTITUTO (1868), IZAÑA (1916) e ICOD (1926); las cuatro siguen activas. No obstante, durante las primeras décadas del siglo pasado también se contó con cierto número de estaciones climáticas –asociadas a ciertos observatorios meteorológicos o a particulares– cuyas series de registros, a pesar de su corta extensión, permitieron esbozar los primeros estudios hidrológicos a escala local; estudios éstos a los que calificamos de «análisis» dada la precaria información que manejaban que, necesariamente, tenía que repercutir en los propios resultados.

Es a los pocos años de activarse la red oficial cuando pueden acometerse en Tenerife «estudios» hidrológicos empíricamente fundamentados[1]. A lo largo de los últimos 100 años se han realizado «análisis» y «estudios» relacionados con la hidrología que han obedecido, entre otros, a los siguientes motivos:

- La elaboración de los **Planes Hidrológicos** y/o **Hidráulicos** de Tenerife.
- La redacción de **Estudios Científicos** acerca de los recursos hídricos.
- Análisis y/o estudios locales de las **variables climáticas.**
- La construcción del **Balance Hídrico Insular**. (BHI)
- El **aprovechamiento** de las aguas de escorrentía superficial.

En los próximos capítulos se ofrece una muestra histórica de estos Planes, Estudios[2]…, con el resumen de su contenido, a fin de dar a conocer a quien pueda interesar el «estado de la materia» imperante a lo largo de los últimos 100 años. De los más recientes sólo damos su referencia pues, por lo general, pueden consultarse en Internet.

Con seguridad se echará en falta algún trabajo; insistimos que se trata de una muestra. O quizás, el texto de alguno lo encuentren muy reducido; se adjunta, en cada caso, el origen del documento para quien desee consultarlo por completo.

---

[1] Realmente, después de la década de los ochenta fue cuando en la isla se dispuso de una cobertura aceptable de control meteorológico y de series de datos con cierta amplitud. Ahora bien, en hidrología se trabaja con la información disponible ya que, salvo excepciones, herramientas al efecto permiten soslayar carencias e inconvenientes, como los comentados.

[2] Las referencias a tales Planes, Estudios,... se limitan, exclusivamente, a los apartados de contenido hidrológico: el BHI, el aprovechamiento de los recursos superficiales,….

XIV.2. LOS PLANES Y LOS GRANDES PROYECTOS CIENTÍFICOS

XIV.2.1. Introducción

Los Planes Hidrológicos Insulares (PHI) se inician como tales a finales de los años ochenta; en su contenido se contempla, además de la planificación de obras hidráulicas, la regulación de otras materias, actividades o disciplinas, de alguna manera relacionadas con el agua. Ahora bien, los primeros Planes de Obras Hidráulicas (POH) con vistas a incrementar los recursos hídricos de la isla datan de, al menos, un siglo

Es de destacar la disparidad del tipo de recurso a aprovechar según que los POH tengan fecha anterior o posterior al inicio de la explotación del acuífero general. En el primer caso (Estudios sobre Riegos – año 1916) se propicia, sobre todo, incrementar la oferta hídrica mediante la captación y almacenamiento de las aguas de escorrentía superficial en represas a construir en los cauces. Sin embargo, en los POH posteriores (Estudio de las Obras hidráulicas en las Islas Canarias – año 1935 o el Plan de Obras Hidráulicas de la isla de Tenerife – año 1960 o el Plan de Balsas de Tenerife – año 1979) el aprovechamiento de las aguas de lluvia pasa a un segundo término, priorizando la regulación en embalses de las aguas subterráneas arrojadas a los cauces en la temporada de lluvias.

En cuanto a los estudios hidrológicos anexos a los POH o a los PHI de la primera mitad del siglo pasado no se acompañan, por lo general, con datos empíricos que las refrenden debido la inexistencia de información meterológica y/o hidrológica de base. En ocasiones, las conclusiones suelen defenderse con razonamientos basados en la observación continuada de los fenómenos hidrometeorológicos o del propio terreno. Otras veces se valen de *indicaciones* interesadas, aunque no malintencionadas, de los vecinos del lugar que, en el intento de conseguir que se ejecute la «obra» con la que obtener, presumiblemente, un nuevo «aprovechamiento» local –una presa para almacenamiento de agua–, propiciaban optimistas expectativas, tanto respecto de la idoneidad de los lugares para emplazar la *represa* como para garantizar su llenado. Expresiones como: *raro sería el año que dejara de llover lo necesario para que se llenasen las represas…, enormes masas de agua de lluvia que estas represas escalonadas…podrían encerrar,* aparecen en el texto de algún documento.

Estas y otras consideraciones han sido extraídas de los documentos consultados –todas ellas relacionadas con la hidrología de superficie insular– por si algún lector siente interés por conocer la práctica hidrológica al uso en aquellos tiempos en los que no cabían más medios de trabajo que la observación, la investigación e incluso la intuición, pues la escasa información empírica existente no daba para aplicar procedimiento de cálculo alguno.

XIV.3. UN POH EN 1916: «ESTUDIOS SOBRE RIEGOS»

XIV.3.1. Introducción

En 1916, justo el año de inicio de nuestro relato de los «100 años de la hidrología insular», el Consejo Provincial de Fomento de Canarias saca a la luz el documento *Estudios sobre Riegos* que bien pudo ser el primer intento de Plan de Obras Hidráulicas para la isla, aunque limitado territorialmente a la vertiente sur. Las propuestas de sus autores no van dirigidas a la Administración sino a los propios agricultores, a los que se les instruye con *indicaciones para la adquisición de nuevas aguas de riego*.

XIV.3.2. Contenido

Se inicia el documento con un resumen de su contenido:

> *Estadística de los alumbramientos de agua, embalses y presas de diversa índole que se hallan en explotación y condiciones y precios…. Contiene además, indicaciones para la adquisición de nuevas aguas de riego en toda la banda Sur de la isla.*

Antes de introducirse en el texto general, los autores advierten de la carencia de medios que han debido afrontar para realizar su cometido:

> *La Comisión,…al aceptar la misión no ignoraba los serios inconvenientes.., debido a la carencia absoluta de datos estadísticos…. Por consiguiente, sólo puede hacer unas consideraciones respecto a riegos,.. y otros detalles de índole hidrometeórica y de carácter agronómico.*

OBSERVATORIO MUNICIPAL DE SANTA CRUZ DE TENERIFE

QUINQUENIO DE 1906 a 1910

Barómetro en m/m y a 0º	Presión máxima		773'97
	Id. media		760'98
	Id. mínima		748'46
Temómetro centígrado a la sombra	Temperatura máxima		36º5
	Id. media		20º0
	Id. mínima		10º7
Psicrometro	Humedad relativa media		58'4
	Tensión media m/m		10'8
Anemómetro	Frecuencia de los vientos	N.	731 días
		N E.	301 »
		E.	255 »
		S E.	48 »
		S.	170 »
		S O.	14 »
		O.	216 »
		N O.	81 »
	Fuerza de los mismos.	Calma	459 »
		Brisa.	973 »
		Viento	351 »
		Id. fuerte	43 »
Pluviómetro.	Lluvia total del quinquenio		1'219 m/m
	Id. anual.—De 265 a 173 m/m		
	Promedio anual.		245 m/m
	Lluvia máxima en un día		51 m/m
	Días de lluvia en el quinquenio		323
	Id. en un año.—De 49 a 84.		
	Promedio anual.		65
Evaporímetro.	Evaporación media diaria.		5'49 m/m
Heliógrafo.	Sol despejado.		8,312 horas
	Id. entrevelado por nubes.		2,175 »
	Insolación total		10,487 »
	Tanto por ciento de insolación.		60 %

Figura 93. Información climatológica entre 1906 y 2010 en la estación de Sta. Cruz

Análisis hidrológico

Se inician dichos análisis con ciertas disquisiciones respecto de la meteorología:

…el estudio del tiempo basado únicamente sobre la meteorología dinámica no interesa prácticamente a la agricultura toda vez que prescinde de los fenómenos básicos…; están tomadas dichas observaciones a más de 2 metros de altura… debiendo adoptarse la meteorología estática, ciencia verdaderamente agrícola, pero que tiene pocos adeptos.

A continuación se hacen análisis particularizados por términos municipales:

En **Adeje**…*algunas de estas nubes en su recorrido de montaña en montaña acaban por resolverse en lluvias de mayor o menor intensidad y extensión… yendo a encerrase en la notable hondonada, conocida por el barranco de El Infierno…*

En **Arona**… *raro sería el año que dejara de llover lo necesario para que se llenasen las represas que se construyan, siendo el único inconveniente, el defenderlas de los materiales que arrastran las lluvias torrenciales que suelen descargar los tiempos del Sur…*

En **San Miguel**…*el barranco… para construir represas es el de Orchilla… Entre el cinco y nueve Kms tiene profundidades hasta más de 50 metros, con acantilados basálticos y otras estratificaciones poco permeables…que por sí señalan las situaciones… para las derivaciones de las enormes masas de agua que estas represas escalonadas…podrían encerrar*.

En **Vilaflor** *se conoce este barranco por el del Agua, pero ha perdido la cualidad del calificativo con la derivación del naciente de Pino Gordo, y por la pérdida de los pinares que cubrían las cuencas.…las brumas…pocas veces se franquean en lluvias de consideración.*

En **Granadilla**, …. *La zona que sigue en altura a la de los pinos se significa… con un suelo… que facilita las filtraciones, tanto de las aguas de lluvia, como las procedentes de la nieve,…, dando lugar a… los dos manantiales: Río de Abades y Las Vegas…y crecimientos extraordinarios en el que corresponde al barranco del Río; el cual resulta especialmente particularizado… para,…, decidirse a construir represas. En otra situación más alta aún, aparecen aguas vivas al pie del promontorio rocoso de «Cuajara» conocido por «Sol de los Muertos», de una cantidad tal que supera con mucho a… la procedente de los fenómenos hidrometeóricos que le afectan. Esta particularidad, de no atribuirse a la existencia de sifones que lleven las aguas desde las mayores alturas del Teide, lo que no creemos, hay que achacarla a la vaporización central…todo lo cual unido a la existencia de un gran arroyo… que existía y que fue cegado a finales del siglo XVII por un derrumbamiento…hace creer que, bien por las filtraciones procedentes del exterior, bien por la va-*

porización central,…existe en Guajara un núcleo extraordinario de agua a explotar; … la cordillera que separa Las Cañadas del Sur ,…, que para atravesarla bastaría un túnel de menos de un kilómetro. Este túnel,…, facilitaría grandemente las comunicaciones entre el Norte de la isla y el Sur por las Cañadas,…

En **Arico** *las condiciones atmosféricas en poco se diferencian de las de Granadilla.*

Al municipio de **Santa Cruz** también se le dedica el correspondiente análisis: *…la especial topografía y orientación de Anaga predispone, muy especialmente, a la producción del agua por el arbolado; pues el aire relativamente cálido que se eleva de sus valles, abiertos al Sur, condensa su vapor de agua al llegar a las cumbres inmediatas y chocar con las corrientes frías y húmedas de los valles expuestos al Norte.*

Propuestas

Adeje *tiene sitios muy indicados para nuevos proyectos de embalses….Estos embalses a pesar de tener sus zonas de riego en la Costa, no se construyen por falta de capitales, puesto que las cuencas…que les afectan, son alcanzadas por las lluvias invernales, que generalmente favorecen los Altos de Adeje…* Serían nueve embalses repartidos en cinco barrancos que, con *500 metros cúbicos de capacidad* conjunta *y un coste* total *de 870 pesetas*, cubrirían una zona de riego de 290 hectáreas. En Arona cuatro barrancos *ofrecen sitios en condiciones para construir represas*s que pudieran almacenar hasta 2.000 *metros cúbicos de agua.* También en San Miguel, Vilaflor, Granadilla, Arico y el Valle de Güímar se propone *hacer represas*, indicando los barrancos apropiados para albergarlas, las capacidades de almacenamiento previsibles, las superficies de cultivo susceptibles de riego y el presupuesto de las obras.

XIV.3.3. Comentarios

La información pluviométrica histórica existente no denuncia un régimen de lluvias, invierno tras invierno, con la intensidad *necesaria para que se llenasen las represas*. Una de las razones de las expectativas tan positivas pudo haber sido la confianza puesta en las encuestas llevadas con los vecinos y conocedores del lugar.

Paradójicamente, esas expectativas se cumplieron durante la década de los años veinte pues resultó ser casi tan húmeda como lo fue la extremadamente húmeda de los cincuenta. Por aquellas fechas se duplicaron las solicitudes de autorización a la Administración Hidráulica para aprovechar las aguas de escorrentía en varios barrancos. En varios del sur de la isla se escalonan uno tras otro, tal como aconsejaban los autores que llevaron a cabo los *estudios sobre riegos* en el sur de la isla.



Figura 94. Pequeñas presas escalonadas en el barranco de Las Salinas – Adeje.

XIV.4. ESTUDIO DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS EN LAS ISLAS CANARIAS (1935)

XIV.4.1. Introducción

En **1935**, Leonardo de Nieva, Ingeniero Jefe de Obras Públicas de Las Palmas y Simón Benítez, Ayudante de Obras Públicas y geólogo, redactan el documento de referencia con el objeto de *aportar los elementos precisos, para que sirvan de directriz en el desarrollo de las obras hidráulicas en Canarias. Para justificar dichas propuestas se expone:*

1º Un estudio general del archipiélago canario en los aspectos…que puedan afectar al establecimiento de las obras hidráulicas.

2º Un estudio monográfico particular de cada una de sus siete islas…para fundamentar …la necesidad y conveniencia de las obras incluidas en el plan

3º Presupuesto de las obras incluidas en este plan.

XIV.4.2. Contenido

Análisis hidrológico

Se hace una visión generalizada para todo el Archipiélago del régimen que caracteriza la circulación de las aguas de escorrentías por los cauces de los barrancos:

…Las escasas aguas manantiales o continuas no discurren por sus cauces naturales porque han sido desviadas por obras artificiales de riegos…. Y así, en la mayor parte del año preséntase las vaguadas secas y pedregosas,…. Pero en el invierno,… , el agua precipítase vertiginosa por todas las ramificaciones de la red hidrográfica,… Repartir con mayor regularidad y en la época propicia estas pérdidas de aguas es… el objeto primordial de este plan.

Señalan que *la escasez de estaciones pluviométricas induciría a graves errores si se tratara de apoyar cualquier conclusión en las observaciones de una sola,* por lo que el análisis pluviométrico lo llevan a cabo apoyándose en los registros de tres estaciones en Gran Canaria. Se informa de cómo averiguar si el coeficiente de escorrentía de los suelos de una determinada cuenca a explotar será *alto o bajo* según los *indicios de impermeabilidad*, dependientes éstos a su vez del *orden de antigüedad* de los terrenos para el que también se aportan *criterios* para su clasificación. Métodos que también aplican *para juzgar aproximadamente el comportamiento del vaso del embalse* cuando sea el caso.

Son varios los comentarios acerca de la hidrología y de la hidrogeología de las islas; cuando se concretan a la de Tenerife se resalta la *torrencialidad de las aguas pluviales corriendo por los barrancos* labrados *en las rocas más antiguas*; en contraposición a las que *se infiltran en los mantos lávicos modernos, enriqueciendo la masa de aguas subterráneas a costa de las superficiales.*

Disponibilidades

….la zona Norte destinada al cultivo del plátano, reclama su mayor cantidad de agua en verano, y la zona Sur, consagrada con preferencia al tomate, precisa abundantes riegos en el invierno, por ser raras en las lluvias en esta vertiente, que,…, descargan violentamente, arrastrando tierras y cultivos y ocasionando más daños que beneficios. De estas contrapuestas épocas de riego …se origina un paradójico contraste: mientras el Sur reclama más agua en invierno, las galerías del Norte tiran al mar la suya por falta de empleo; e inversamente, durante el verano es el Norte el que clama sediento mientras el Sur desperdicia sus aguas.

Propuestas

Se prioriza el aprovechamiento de esas aguas subterráneas que discurrían hasta el mar. Al respecto se proponen *dos largas acequias, la del Norte, que debe coger las aguas sobrantes de todas las galerías orientales hasta Realejos y prolongarse para ser utilizadas en los términos de Icod y Garachico; y la del Sur, que ha de conducir las aguas a los términos de Arico, Granadilla y otros más occidentales.* No se descartaba el aprovechamiento de las aguas de escorrentía superficial: *…por ello se intercalan en las canalizaciones que figuran en este* ***plan*** *algunos embalses reguladores, completándolos con otros de aguas discontinuas*.

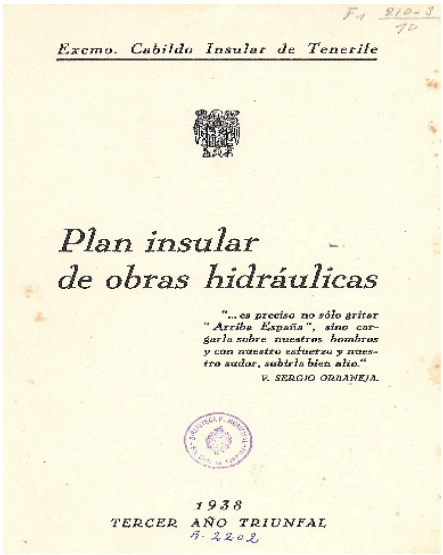
Presupuesto
Canal del Norte . . . . . .1.300.000 pesetas
Canal del Sur . . . . . .1.500.000 pesetas
Galerías de alumbramiento3.000.000 pesetas

XIV.5. EL PLAN INSULAR DE OBRAS HIDRÁULICAS – (1938)

XIV.5.1. Introducción

El documento[3] que ahora comentamos pudo ser la respuesta de Tenerife al ***plan*** general propuesto en el documento expuesto en el apartado precedente.

El 8 de septiembre de 1938 se aprobó por la Comisión Gestora del Excmo. Cabildo Insular de Tenerife la *Propuesta Insular de Obras Hidráulicas* que había tenido como antecedente la Orden de 25 de mayo de 1938 del Ministerio de Obras Públicas por la que *se disponía la realización coordinada de estudios topográficos, geológicos e hidrológicos de la región canaria. En Tenerife, agudizado el caso por la absoluta carencia de aguas en regiones tan vastas como las del Sur y del Este, el Excmo. Sr. Gobernador de la provincia alentó al Excmo. Cabildo Insular, con patrióticas iniciativas y entusiasta celo para que acometieran obras que convirtiesen en realidad la ansiada solución, y la Corporación puesto todo su fervor ha creído encontrar una fórmula técnica y económicamente posible para resolver los problemas hidráulicos de la isla.*


Excmo. Cabildo Insular de Tenerife

Plan insular de obras hidráulicas

"...es preciso no sólo gritar "Arriba España", sino cargarla sobre nuestros hombros y con nuestro esfuerzo y nuestro sudor, subirla bien alto."
V. SERGIO ORBANEJA.

1938
TERCER AÑO TRIUNFAL

Figura 95. Portada del documento POH-1938

XIV.5.2. Objetivos

El Acuerdo de la Comisión Gestora del Excmo. Cabildo… abarca tres órdenes de obras: unas encaminadas a dotar de aguas potables a los distintos núcleos….otras que resolverán las dificultades que hoy presenta la irrigación de los feroces terrenos… de la Capital, La Laguna y Tegueste y otras….el problema de los riegos en el Sureste de Tenerife.

[3] Biblioteca Municipal Central de Sta. Cruz de Tenerife – TEA: Tenerife Espacio de las Artes

XIV.5.3. Propuestas

Leídas todas las *exposiciones… la Comisión,…resolvió por unanimidad, lo siguiente:*

Aprovechamiento integral de las aguas del Sur

I.- …solicitar para este Excmo. Cabildo, como único representante del País afectado, el aprovechamiento integral, mediante la construcción de los adecuados embalses y canales,…de todas las aguas discontinuas que discurren dentro de la zona comprendida entre el Barranco de El Río,… y el Barranco de Chío, en Guía de Isora, cuya concesión habrá de otorgarse a perpetuidad para el riego de las fincas… de propiedad particular en la zona de referencia.

Amortización de las obras y atenciones benéfico-sociales

II.-El producto de la venta de las aguas expresadas…quedará a beneficio de la Corporación, que lo destinará,… a la amortización del importe…, a nutrir sus ingresos ordinarios, con preferente… inversión en las atenciones benéficas y sociales a cargo del Excmo. Cabildo.

Auxilio Económico del Estado

III.-Solicitar al Estado su auxilio económico para la ejecución de las obras… siendo condición precisa…que se haga efectivo simultáneamente con la aportación del Excmo. Cabildo.

Embalses y galerías en Granadilla de Abona

IV.-En los proyectos… se deberá tener en cuenta… el emplazamiento de los embalses, así como la conveniencia de perforar galerías para el alumbramiento de aguas subterráneas.…

Riego de los Valles altos de la Capital

VI.-…construcción de tomaderos, presas y acueductos,…para la irrigación de los terrenos, así como la prolongación del Canal del Norte…hasta el Monte de Los Campitos…

Distribución de aguas en La Laguna y Tegueste

VII.-…realizar el oportuno estudio técnico para la determinación del volumen de las aguas disponibles…para su conducción, almacenamiento y distribución…

Abastecimiento de aguas potables

VIII.-Interesar la cooperación de todos los Ayuntamientos de la Isla que no tengan aún resuelto el problema del abastecimiento de aguas potables para acometer su urgente solución…

Régimen jurídico

IX.-Para todos los aprovechamientos …el Excmo. Cabildo implantará, previa aprobación del Gobernador Civil de la provincia, el ordenamiento jurídico preciso….

Personal y trabajos técnicos

X.-…se solicitará de la Inspección Regional de Obras Públicas la designación del personal técnico que haya de redactar los correspondientes proyectos, siendo de cuenta de la Corporación Insular los gastos materiales que ocasionen los trabajos con exclusión de dietas y labor de oficina…

Fórmula económica

XI.- La Intervención de Fondos del Exmo. Cabildo realizará los oportunos estudios económicos que garanticen la rentabilidad de las obras…y propondrá a la Comisión Gestora la necesaria fórmula económica para la ejecución de los respectivos proyectos.

XIV.5.4. Disposiciones legales

En el documento se hace referencia a varias disposiciones legales relativas a las obras a realizar por el Estado en Canarias:

Aguas públicas. – (Abastecimiento de aguas en Canarias). – Decreto de 21 de Noviembre de 1933, Ministerio de Obras Públicas, concediendo el auxilio del Estado, que redactará el proyecto por su cuenta; fijando las condiciones económicas de cooperación entre el Estado y los Cabildos insulares …, etc, etc.….La dotación media será como máximo de 25 litros por habitante y día y de un promedio por cabeza de ganado que no podrá llegar a 20 litros diarios y que se justificará en cada caso…

XIV.6. EL PLAN DE OBRAS HIDRÁULICAS DE TENERIFE – (1960)

XIV.6.1. Introducción

El Excmo. Cabildo Insular de Tenerife, en sesión plenaria celebrada el 23 de diciembre de 1959 acordó confeccionar un ***Plan Hidráulico de la isla de Tenerife*** *y encargar su redacción a los Ingenieros que suscriben. Para la realización del estudio encomendado, hemos procedido en primer lugar a la selección de datos referentes a disponibilidades de aguas continuas así como a las superficies dedicadas actualmente a cultivos permanentes y estacionales. Para este trabajo inicial hemos contado con…*

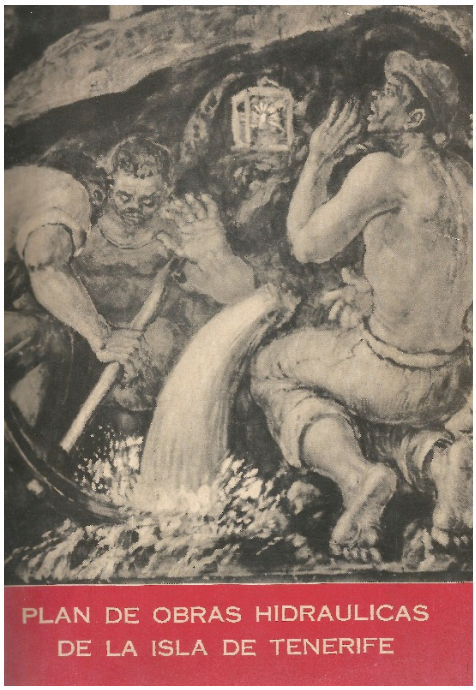


Figura 96. Portada del documento POH-1960

Con estos párrafos Juan Amigó de Lara y Juan La Roche Izquierdo inician el apartado de ANTECEDENTES del documento de referencia que ambos suscribieron el 29 de febrero de **1960**.

XIV.6.2. Contenido

Análisis hidrológico

Para evaluar la **pluviometría** se tomaron los datos publicados en los Boletines trimestrales del Centro Meteorológico de Tenerife. En uno de los Anejos se ofrecen las precipitaciones anuales registradas durante el decenio 1949-1958 así como la media anual del período en 52 estaciones. No obstante, se argumenta que *por tratarse de un decenio lluvioso, no parece prudente operar con las cifras medias obtenidas. Por ello hemos considerado sólo el 85% del valor antes deducido*. A partir de estos valores confeccionan un plano de isoyetas del que deducirán que la isla recibe anualmente un volumen de agua de lluvia de 915.340.000 m^3, equivalente a **445** L/m^2.

En cuanto a la **evapotranspiración** se dice que *además de la evaporación incluimos la que absorbe o retiene la vegetación existente. Para calcular la **escorrentía**, a falta de estaciones de aforo se eligió la cuenca de Tahodio donde*

existe el embalse del mismo nombre…. Estableciendo una correlación entre el volumen anual de las precipitaciones …y la cantidad de agua distribuida (desde el embalse) cada año se dedujo el coeficiente de escorrentía (20%). A partir de este valor, modificado ligeramente según las características especiales de cada cuenca, se aproximó el orden de magnitud de las aguas que corren por los distintos cauces y barrancos…que dieron un volumen anual de escorrentía aprovechable en… la isla de 118.190.000 m³. Con respecto a la **infiltración** se estimaba en *300 millones de metros cúbicos anuales*, equivalentes a **146** L/m².

Disponibilidades de agua

Un exhaustivo inventario de las galerías en explotación permitió conocer, entre otros, que el volumen anual de extracciones de agua subterránea era de ***162*** *millones de metros cúbicos*. Se estimaba pues que el volumen general de las **disponibilidades** de agua en la isla de Tenerife era de: 162.000.000 + 118.000.000 = **280.000.000** m³

Consumos

A partir de los datos de población y de las *dotaciones previstas para el día de mañana* se estimaba *el* ***consumo urbano*** *previsto para el futuro en* ***30*** *millones de metros cúbicos.*

Para averiguar el consumo agrícola se encuestaron, por municipios, *las superficies de cultivo de regadío actuales y las posibilidades de aumento…* Se dedujo *un* ***consumo medio anual por hectárea*** *de 15.532 m³ en el norte y 17.387m³ en el sur para los cultivos permanentes y de 8.502 m³por hectárea para los cultivos estacionales, sólo en el sur.*

Esquema del Plan

La aspiración que se persigue con el Plan es la puesta en riego de la totalidad de los terrenos aptos para ello que existen en la isla. Su ejecución se planteaba en dos etapas:

La primera comprende la serie de obras precisas para aprovechar de manera integral las aguas existentes procedentes de galería. En la segunda etapa se incluye la ejecución de los embalses necesarios para el aprovechamiento de las aguas de escorrentía…

Balance Hidráulico

Para el cálculo de las necesidades futuras, admitimos que el 70% de la superficie total futura dedicada a cultivos permanentes ha de regarse con aguas de galerías y el 30% restante con las de escorrentía. En cuanto a los cultivos estacionales se admite que se rieguen con el 50% de cada procedencia. Los consumos urbanos procederán en su totalidad de galerías.

Propuesta de obras

Se proponía la construcción de **154** embalses repartidos por toda la isla para regular las aguas subterráneas alumbradas en galerías; en algunos de ellos las superficiales compartirían estancia con aquellas. Como mediadas complementarias, entre otras:

- *La **corrección de cauces** modificando su perfil y régimen de evacuación...*
- *Partidas para activar los planes de **repoblación forestal**...*

Presupuesto

El presupuesto total de las obras propuestas ascendía a 1.811.000.000 pesetas de las cuales 1.323.600.000 correspondían a la ejecución de los embalses.

XIV.6.3. Comentarios

Cuando se inicia la redacción del Plan acaba de finalizar una década muy húmeda pues fue la más lluviosa de las que se tienen constancia desde que existen datos registrados de pluviometría, lo que dio lugar a varios hechos circunstanciales que sin duda mediatizaron las expectativas de aprovechamiento:

- Los barrancos «corrieron» casi todos los otoño-invierno de esos diez años.
- La lluvia cubrió en buena parte del año las necesidades de riego.
- Disminuyeron las aportaciones de agua subterránea destinadas al regadío
- Parte o incluso todo el caudal de agua alumbrado en galerías que llegaba a bocamina se arrojaba directamente a los barrancos.

XIV.7. EL PLAN HIDRÁULICO DE TENERIFE – (1967)

A impulso del entonces Presidente del Cabildo de Tenerife, José Miguel Galván Bello nació en 1967 el denominado PLAN HIDRÁULICO DE TENERIFE fruto de un convenio entre el Ministerio de Obras Públicas, el Ministerio de Agricultura y el Cabildo de Tenerife. Se trataba de un Plan de Obras Hidráulicas que dio lugar a la redacción de varios proyectos de construcción de balsas a partir de la impermeabilización de varios conos volcánicos.

1. balsa de **Montaña del Aire** en La Laguna.
2. balsa **Montaña del Mojón** en Arona
3. balsa de **Montaña de la Caldereta** en Tegueste.
4. balsa de **Valle Molina** en Tegueste.
5. balsa de **Montaña de Taco** en Buenavista.
6. balsa **Montaña de Los Frailes** en Los Realejos
7. balsas de **Montaña Gorda** en Granadilla.

8. balsa de **Barranco de Benijos** en La Orotava.
9. balsa de **El Saltadero** en Granadilla.
10. balsa de **Montaña Tilena** en San Miguel.

El objetivo del Plan era almacenar y regular las aguas subterráneas de galerías que en los meses de lluvia no tenían uso. Sólo en algún proyecto se planteaba la posibilidad de aprovechar el agua de la «lluvia» pero sin concretar su procedencia.

XIV.7.1. Desarrollo del Plan

A modo de experiencia, el Plan se inició con la construcción de la Balsa de El Saltadero, de 0,5 hm^3 de capacidad. El primer y único usuario de la balsa fue el Aereopuerto Reina Sofía que al final lo abandonó por problemas sanitarios con el agua. El paso del tiempo dio lugar a la ruina de la pantalla de impermeabilización y a la obra en sí. Con la puesta en servicio de las aguas reutilizadas en 1993 la balsa se impermeabilizó de nuevo y se la anexionó al sistema hidráulico que BALTEN gestiona en el vértice sur de la isla

Las peculiares características del resto de las obras, el inadecuado tipo de material que se proponía para la impermeabilización de los vasos así como la gran dificultad que entrañaba su tendido, supusieron la extinción del Plan.

XIV.8. EL PROYECTO CANARIAS SPA-15

Promovido[4] por la UNESCO y el Ministerio de Obras Públicas, tuvo como objetivo realizar el estudio general de los recursos hídricos (subterráneos y superficiales) en cada una de las siete islas del Archipiélago.

XIV.8.1. Evaluación de los elementos del BHI en el Proyecto

En el apartado 4.3. del tomo correspondiente a Santa Cruz de Tenerife se expone la metodología aplicada a la obtención de los valores de las variables hidrometeorológicas que conforman el BHI de Tenerife. Se dice:

La falta de datos sobre escorrentía y evapotranspiración real no permite un cálculo afinado de la recarga. Sin embargo la disponibilidad de datos adecuados de precipitación permite un buen control de este factor…. Por analogía con otras islas del Archipiélago, en especial con Gran Canaria, y por observaciones cualitativas en el campo, ha sido posible obtener una estimación aproximada de los coeficientes de escorrentía en las diversas áreas…. Utilizando la relación existente entre altitud y evaporación real para la isla de Gran Canaria …ha sido posible estimar las dos tendencias que existen en las laderas norte y sur de la isla. La infiltración se obtuvo en función de la precipitación, la escorrentía y la evapotranspiración.

[4] Proyecto CANARIAS SPA/69/515. ESTUDIO CIENTIFICO DE LOS RECURSOS DE AGUA EN LAS ISLAS CANARIAS.(1972). Madrid

BALANCE HÍDRICO INSULAR MEDIO		SPA-15 (1940/41 – 1965/66)			Histórico (1944/45 – 2014/15)		
Ref	**MAGNITUD HIDROLÓGIA**	**mm/ año**	**hm³/ año**	**(%)**	**mm/ año**	**hm³/ año**	**(%)**
PC	Precipitación Convencional	**432**	**889**	**100**	423	861	90
PAN	Precipitación de Agua de Niebla				48	98	10
PT	Precipitación Total	**432**	**889**	**100**	**471**	**958**	**100**
ETR	Evapotranspiración	**252**	**519**	**58**	**287**	**583**	**61**
ES	Escorrentía	**65**	**132**	**15**	**11**	**23**	**2**
I	Recarga o Infiltración Efectiva	**117**	**239**	**27**	**172**	**350**	**37**

Tabla 26. Balances hídricos: SPA-15; Actual e Histórico con el MHSup.

El cálculo de la Precipitación (PC) incluye las lluvias de la década de los años cincuenta, lo que justifica que dicho valor supere ligeramente al del período histórico. El orden de magnitud de la Evapotranspiración Real (ETR), cuantitativo y porcentual, es semejante al del MHSup[5]. La mayor diferencia aparece en la Escorrentía (E) debido sin duda a la analogía que se estableció con la isla de Gran Canaria[6]. La Infiltración (I) se obtuvo como *una función de la precipitación, de la escorrentía y de la evapotranspiración*; no obstante, en el documento se reconoce que la I así calculada no se corresponde con la Recarga total (R) a la que se la define mediante el siguiente algoritmo: R = P – (ES + ETR) + ε = I + ε en el que «ε» es un término de corrección de la Infiltración que integraba, según los casos, la influencia de la escorrentía subsuperficial, la condensación de niebla y la infiltración de la escorrentía en áreas de drenaje diferido y zonas porosas[7].

Aún a pesar de este término corrector, el valor de la Recarga (> 126 mm) está lejos del obtenido en el BHI histórico. Respecto de la **PAN**, aunque se reconocía su existencia (*la condensación de niebla*) no se llegó a evaluar, formando parte del mencionado «*término de corrección de la Infiltración*» (ε).

[5] Téngase en cuenta que en el BHI histórico participa la PAN por lo que, a efectos comparativos, la ETR asociada a la PC sería de unos 239 mm, muy cercanos a los 252 mm deducidos en el Proyecto SPA-15.

[6] La explotación de las aguas superficiales mediante presas en la primera facilitó la obtención de datos del coeficiente de escorrentía. Por el contrario, la carencia en Tenerife de datos empíricos en los que apoyarse, obligó a recurrir a la extrapolación.

[7] Con ella se estaba haciendo referencia presumiblemente a la *Infiltración en Cauces*.

XIV.8.2. Resumen, Conclusiones y Recomendaciones

…el aprovechamiento de los recursos superficiales puede y debe incrementarse mediante la construcción de embalses y depósitos, recarga artificial y,… utilizando los excedente de galerías.

Además, se recomendaba, entre otras:

- *mantener y mejorar la **red** hidrometeorológica y de aforos*
- *construir un **modelo** de simulación de la isla…*
- *proseguir con los **estudios** hidrológicos…*
- *…la obtención de recursos suplementarios mediante lluvia provocada, **condensación de nieblas**, condensación artificial y reducción de la evaporación,…*

Con respecto a la primera recomendación dentro del propio Proyecto se llegó a construir una mini red de pluviómetros, parte de ellos para el registro en continuo de la lluvia (pluviógrafos) y otra parte para mediciones acumuladas (totalizadores de montaña). También se instalaron varios aparatos para el aforo de caudales de aguas de escorrentía en varios barrancos de la isla.

XIV.9. EL PROYECTO MAC-21

Traer a esta relación el Proyecto de referencia se debe más a su importancia en sí que a su implicación con la hidrología superficial de esta isla, pues se remitía, al respecto, a los datos aportados por el Estudio Científico de los Recursos de Agua en el Archipiélago Canario (proyecto SPA-15), complementados y actualizados con los trabajos que desde entonces se han realizado en el Archipiélago. Sí se llevó a cabo la actualización del inventario de los recursos subterráneos así como de la red de transporte de agua en alta. Sin embargo, con respecto a los recursos superficiales y su aprovechamiento, para la isla de Tenerife se apuntaba que: *Se han usado, como datos básicos,…los estudios de regulación obtenidos por el Centro de Estudios Hidrográficos*.

En Tenerife se proponía el aprovechamiento de 4,82 hm3/año de Aguas Superficiales en la zona Norte-Este mediante 6 presas y 0,259 hm3/año en la zona Oeste mediante 2 presas

En el Informe de Recopilación y Síntesis se hacía el siguiente comentario respecto de los RECURSOS DISPONIBLES:

Su determinación se ha realizado a partir de los datos aportados por el Estudio Científico de los Recursos de Agua en el Archipiélago Canario (proyecto SPA-15), complementados y actualizados con los trabajos que desde entonces se han realizado en el Archipiélago….

La metodologia utilizada ha sido la siguiente:

Recursos Superficiales: Se han usado, como datos básicos, los existentes en el Proyecto SPA-15, para las islas de Fuerteventura, Hierro y Lanzarote y los estudios de regulación obtenidos por el Centro de Estudios Hidrográficos para las restantes Islas.

XIV.10. EL PLAN DE BALSAS DE TENERIFE

XIV.10.1. Datos generales

El 12 de diciembre del año 1979 se firmó en Santa Cruz de Tenerife, por el Ministro de Obras Públicas y Urbanismo y el Presidente del Cabildo Insular de Tenerife, el *Convenio para el proyecto y construcción en la isla de pequeños embalses y balsas reguladoras* –especialmente del agua subterránea excedentaria en invierno– *así como las instalaciones anejas de llenado y distribución*.

Un equipo técnico del Cabildo[8] y el MOPU elaboró en 1980 el correspondiente Estudio de Viabilidad del que se denominó *«Plan de Balsas del Norte de Tenerife»*. Los recursos superficiales, posible complemento de los de origen subterráneo, vendrían a aumentar las garantías de llenado de las balsas. Dado que *únicamente en la vertiente Norte se producían excedentes importantes de aguas subterráneas y los caudales de escorrentía superficial que circulan por los barrancos tienen una cierta continuidad*, se limitó el ámbito del Plan a dicha zona.

XIV.10.2. Análisis hidrológico

En el entorno de varias de las balsas se seleccionaron los posibles barrancos que podrían aportar recursos superficiales para su llenado, estimándose en cada uno de ellos las aportaciones medias anuales esperadas:

…Se ha hecho…una primera selección de los Barrancos de la vertiente Norte que corren todos los años; en los mismos se escogieron los posibles tomaderos o embalses…, superficiándose las cuencas y estimándose la precipitación media anual en las mismas por superposición de las isoyetas medias del Proyecto SPA-15, supuesto un coeficiente de escorrentía de 0.20, se obtuvieron unas estimaciones de las aportaciones medias anuales.

Por aquellas fechas la única información relativa a caudales de aguas de escorrentía superficial circulantes por los cauces de los barrancos de la isla se limitaba a la que proporcionaron durante unos pocos años media docena de aforadores instalados durante el Proyecto SPA-15 en otros tantos barrancos de la isla cuyo rendimiento fue muy bajo y apenas aportaron datos representativos.

[8] José D. Fernández Bethencourt y Escolástico Aguiar González

XIV.10.3. Balsas seleccionadas

BALSAS SELECCIONADAS EN EL NORTE DE TENERIFE				
EMBALSE	**Municipio**	**Capacidad estimada** (m^3)	**Aguas Superficiales**	
			Barranco	hm^3/año
MTÑA. DE TACO	Buenavista	825.000	–	–
LOS PALOMOS	El Tanque	150.000	Los Palomos	0,4
EL PEDREGAL	Icod	100.000	–	–
BUEN PASO	Icod	150.000	Castro	–
LA FLORIDA	Icod	150.000	–	–
LA TABONA	La Guancha	150.000	–	–
LLANOS DE MESA	S. J. Rambla	175.000	Ruiz	0,7
LA LORA	Realejos	125.000	La Calera	0,7
LA CALERA	Realejos	125.000	La Calera	0,7
LA CRUZ SANTA	Realejos	625.000	–	–
BENIJOS	La Orotava	250.000	Benijos (1)	0,4
QUIQUIRÁ	La Orotava	125.000	La Arena	1,9
BARROSO	La Orotava	100.000	La Arena	1,9
AGUAMANSA	La Orotava	150.000	La Arena	1,7
FARROBILLO	Sta. Úrsula	100.000	Calderetas	0,9
SAN ANTONIO	La Matanza	150.000	–	–
EL CALVARIO	Tacoronte	200.000	Las Lajas	0,9
VALLE MOLINA	Tegueste	600.000	Los Rodeos (2)	0,7

Tabla 27. Relación de embalses seleccionados en el Plan de Balsas del Norte de Tenerife.
(1) Además los barrancos de La Raya y El Cerrudo. (2) Además los de La Centinela y Las Cuevas

Las balsas de El Pedregal, de Los Palomos, Barroso, Quiquirá, La Lora, La Calera, el Farrobillo y la de El Calvario no llegaron a ejecutarse.

XIV.10.4. Gestión de las Infraestructuras

De los textos de la Memoria XX Años y de la página Web de BALTEN hemos extraído los siguientes párrafos y el gráfico que les acompaña al final:

… A la finalización de las obras de los primeros embalses en el año 1987 fue cuando el Cabildo Insular de Tenerife, como beneficiario, se planteó seriamente la gestión de los mismos, manteniéndose contactos a estos efectos

con los sectores implicados: productores de agua –normalmente asociados en comunidades de agua–, usuarios –agrupados en cooperativas agrícolas– y ayuntamientos.

Se entendió en un principio como fórmula más ágil la explotación por parte de aquéllos en régimen de concesión, pero esta fórmula de gestión no tuvo una feliz acogida, ya que las fuertes exigencias técnicas de las obras, especialmente en lo que se refiere a la necesidad de impermeabilizar artificialmente estructuras muy deformables sometidas a cargas de agua sin precedentes, supusieron un freno para los posibles concesionarios.

Fue por ello por lo que para la gestión de toda la infraestructura del «Plan de Balsas del Norte de Tenerife» que se venía encima, la Corporación Insular optó finalmente por la creación en septiembre de 1988 del Organismo Autónomo Local Balsas del Norte de Tenerife (BALNORTE), cuya finalidad básica, recogida en sus Estatutos, se ceñía al «abastecimiento de aguas para riego y conseguir una regulación temporal de las aguas disponibles», habiéndose constituido sus órganos de gobierno con una nutrida participación del propio Cabildo, del Gobierno de Canarias, de los ayuntamientos y de los sectores agrícola e hidráulico. Se le adscribían en aquel momento las 10 balsas reguladoras que formaron parte del referido Plan de Balsas, y se zonificaba la vertiente Norte en 5 zonas que iban agrupando aquéllas.

En marzo de 1992, y con vistas a asumir un año más tarde las infraestructuras incluidas en el «Programa de Reutilización de las aguas depuradas de las ciudades de Santa Cruz y La Laguna», así como a ampliar sus fronteras a todo el territorio insular, se aprobó la primera modificación de los Estatutos del Organismo, pasando a llamarse Organismo Autónomo Local Balsas de Tenerife (BALTEN), adscribiéndosele igualmente el conjunto de obras incluida en el referido Programa y creándose una zona más, denominada como Zona 6 y con la que se completaba la Isla….

Tras las medidas legislativas para la modernización del gobierno local, el OAL BALTEN pasó a ser, a partir del 1 de enero de 2012, la Entidad Pública Empresarial Local Balsas de Tenerife, BALTEN (EPEL BALTEN). La nueva entidad se subrogaba en todas las actividades que hubieran sido suscritos por el OAL, estableciéndose en sus Estatutos que su finalidad básica es: *la prestación del servicio público de abastecimiento de agua para riego, así como la gestión de todas aquellas infraestructuras hidráulicas o instalaciones afectas a la misma mediante adscripción, cesión en uso o cualquier otro título admisible en Derecho que le permitan la consecución del fin asignado*. Derivado de aquella finalidad, desde el 1 de enero de 2012 se produjo el cese de la gestión por parte de BALTEN de las infraestructuras hidráulicas afectas a los servicios de desalación de aguas salobres con destino al abastecimiento a poblaciones, que en su día le fueron encomendadas por parte del CIATF.

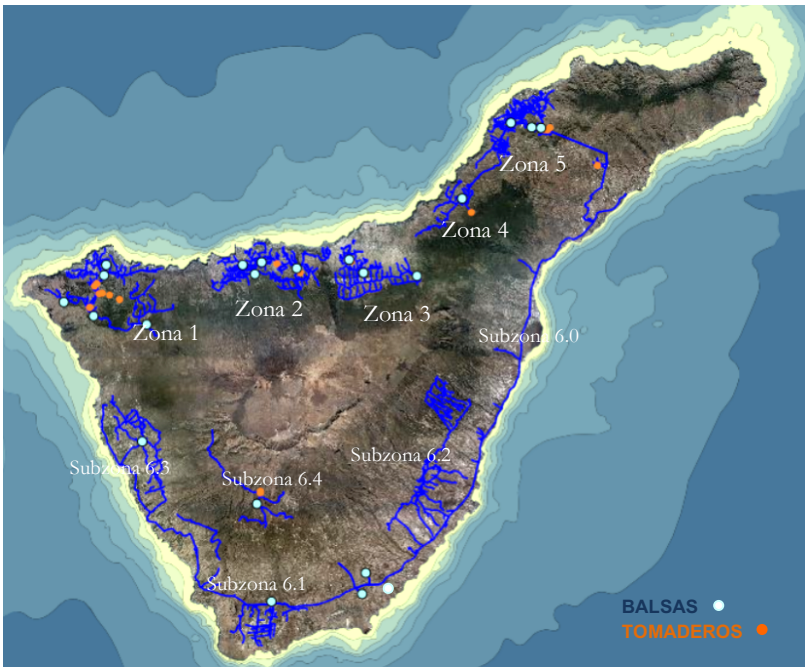


Figura 97. Mapa de Infraestructuras de BALTEN y Zonificación de la Gestión

XIV.10.5. Nuevas balsas adscritas a BALTEN

A lo largo de los 30 años de vida de BALTEN, se fueron incorporando al sistema nuevas balsas: «Valle de San Lorenzo» en Arona, «San Isidro» y «El Saltadero» en Granadilla –dentro del Sistema de Reutilización– ; y «Los Partidos» en El Tanque, «El Palmar» y «Ravelo» en Buenavista, «El Boquerón» y «Presas de Ocampo» en Valle Guerra (La Laguna), «Trevejos» en Vilaflor y «Lomo del Balo» en Guía.



Figura 98. Centro de distribución de la Red Isla baja, que se suministra de la Balsa de Montaña de Taco

La cercanía de la gestión –nueve mil usuarios conectados mediante contador de agua a presión– ha propiciado para la Corporación Insular un mejor análisis del Sistema hidráulico y, por ende, un mayor acierto a la hora de acometer el extenso y complejo entramado de conductos que ilustra el mapa anterior, permitiendo que la gran mayoría de los embalses puedan recibir, directa o indirectamente, aguas de escorrentía superficial.

XIV.11. EL PLAN HIDROLÓGICO INSULAR (PHI-1995)

El PHI de Tenerife se aprobó el 26 de diciembre de 1996; le cupo el honor de ser el primer Plan Hidrológico de Cuenca aprobado en España tras la nueva Ley de Aguas de 1985.

El bloque dedicado al Planeamiento hidrológico de superficie se iniciaba así:

Aunque cuantitativamente las aguas superficiales sólo suponen el 1% del recurso total utilizado en la isla, su valor cualitativo, derivado de la ausencia de sales disueltas, es mucho mayor al poderse mezclar con aguas subterráneas de salinidad media o alta, y permitir el uso de estas en agricultura.

Se planteaban los siguientes objetivos específicos:

- *Mantener, mejorar y corregir los cauces naturales para garantizar el desagüe de las aguas de escorrentía incluso en condiciones extraordinarias (avenidas de 500 años).*
- *Delimitar el dominio público hidráulico, velando por su conservación,….*
- *Promover el aprovechamiento de las aguas superficiales hasta el límite de su viabilidad técnico-económica.*
- *Procurar aumentar la infiltración de aquellas aguas de escorrentía que no se puedan derivar, con objeto de recargar los acuíferos.*
- *Fomentar la repoblación forestal y vegetal como medio para reducir la erosión, aumentar la infiltración e incrementar la precipitación por condensación.*
- *Mejorar la red hidrometeorológica, así como la transmisión, almacenamiento y tratamiento de los datos.*

En relación con el *aprovechamiento de las aguas superficiales*:

- *Aprovechamiento de las escorrentías del barranco de Santos.*
- *Captación de escorrentías en el macizo de Anaga-Norte.*
- *Captación de escorrentía superficial en el macizo de Teno.*
- *Captación de escorrentías en el macizo de Anaga-Sur.*
- *Derivación y regulación de la escorrentía del barranco de San Jerónimo o de Las Lajas.*
- *Captación y regulación de la escorrentía del barranco de Agua de Dios.*
- *Obras complementarias del Plan de Balsas del Norte de Tenerife.*

Tales propuestas tuvieron su refrendo en el Proyecto TEN-ADE y el Plan Operativo de Los Campitos (POC), que se comentan en el bloque siguiente.

Independientemente de las obras de derivación consideradas anteriormente, las actuaciones en los cauces contempladas en el Plan han tenido en cuenta dos objetivos básicos: la defensa contra las avenidas y la conservación y protección del patrimonio hidráulico.

Respecto de los elementos del BHI se aportaban las siguientes cifras:

BALANCE HÍDRICO INSULAR MEDIO		**PHI (–)**			**Histórico (1944/45 – 2014/15)**		
Ref	**MAGNITUD HIDROLÓGIA**	**mm/ año**	**hm³/ año**	**(%)**	**mm/ año**	**hm³/ año**	**(%)**
PC	Precipitación Convencional	**425**	**865**	**100**	423	861	90
PAN	Precipitación de Agua de Niebla				48	98	10
PT	Precipitación Total	**425**	**865**	**100**	471	958	**100**
ETR	Evapotranspiración	**298**	**606**	**70**	287	583	**61**
ES	Escorrentía	**9**	**20**	**2**	11	23	2
I	Recarga o Infiltración Efectiva	**118**	**239**	**28**	172	350	**37**

Tabla 28. Balances hídricos: PHI e «Histórico» del MHSup

Meses después se puso de manifiesto en determinadas cuencas de las cuatro islas occidentales que los valores que se deducían para la Recarga no eran compatibles con las extracciones de agua subterránea procedentes de dichas cuencas[9].

A resultas de tales comprobaciones, se tomaron varias medidas; entre otras:

- la consideración del día como período de análisis al establecer el balance en el suelo.
- mejorar el conocimiento edafológico de la isla.
- hacer partícipe del BHI a la lluvia horizontal.
- simular el ciclo hidrológico insular mediante un modelo matemático distribuido.

[9] En la del barranco de Godinez, en el TM de Los Realejos. En la isla de El Hierro los alumbramientos de agua subterránea en el pozo Los Padrones aportaban unos caudales en discordancia con los valores deducidos para la infiltración. El análisis hidrogeológico de la estructura COEBRA (de Coello y Bravo) en la isla de La Palma puso en evidencia la infravaloración de la pluviometría y en consecuencia de la infiltración en el casquete de cumbre de la isla. La «montaña de Los Manantiales» en la isla de La Gomera fue también un excelente laboratorio donde calibrar los elementos del BHI.

XIV.12. EL PLAN HIDROLÓGICO DE TENERIFE (PHT–2015)

En la Memoria de Información del PHT se deja establecido que:

La Isla de Tenerife es una cuenca hidrográfica intracomunitaria que configura una demarcación hidrográfica en sí misma cuya gestión se encuentra encomendada al Consejo Insular de Aguas de Tenerife.

En la Memoria de Ordenación se fijan los objetivos respecto de los recursos superficiales, los cuales vienen a coincidir con los del PHI, a los que se añade:

- *El mantenimiento y conservación de las presas existentes: Elaboración y cumplimiento de normas de explotación.*

BALANCE HÍDRICO INSULAR MEDIO		SPA-15 (1940/41-1965/66)			PHT (1944/45-2009/10)			Histórico (1944/45 – 2014/15)		
Ref	**MAGNITUD HIDROLÓGIA**	**mm/ año**	**hm³/ año**	**(%)**	**mm/ año**	**hm³/ año**	**(%)**	**mm/ año**	**hm³/ año**	**(%)**
PC	Precipitación Convencional	**432**	**889**	**100**	**419**	**852**	**90**	423	861	90
PAN	Precipitación de Agua de Niebla				**44**	**91**	**10**	48	98	10
PT	Precipitación Total	**432**	**889**	**100**	**463**	**943**	**100**	**471**	**958**	**100**
ETR	Evapotranspiración	**252**	**519**	**58**	**273**	**556**	**59**	**287**	**583**	**61**
ES	Escorrentía	**65**	**132**	**15**	**10**	**20**	**2**	**11**	**23**	**2**
I	Recarga o Infiltración Efectiva	**117**	**239**	**27**	**179**	**364**	**39**	**172**	**350**	**37**

Tabla 29. Balances hídricos: SPA-15, PHT e Histórico.

La detallada cartografía edafológica disponible y la incorporación al ciclo hidrológico insular de la lluvia horizontal indujeron cambios sustanciales en los términos del BHI −construido en esta ocasión mediante el MHSup− respecto de las ediciones precedentes (p.ej.: Spa-15), resueltas «manualmente». Comparado con el BHI histórico último, el ligero descenso en la infiltración se debe al también ligero aumento de la evapotranspiración como consecuencia del empleo de la fórmula aconsejada por la FAO (Penman-Monteith) para el cálculo de la evapotranspiración potencial.

La hidrología superficial insular tiene un amplio tratamiento dentro del PHT cuyo contenido puede consultarse a través de la página web del CIATF.

CAPÍTULO XV
ANÁLISIS Y ESTUDIOS LOCALES RELATIVOS A LAS VARIBLES CLIMÁTICAS

XV.1. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO EN EL VALLE DE LA OROTAVA

El documento de referencia fue suscrito en mayo de 1924 por Lucas Fernández Navarro quien lo describe como un *informe conjunto acerca de los alumbramientos en el Valle de la Orotava* redactado a instancias de *un grupo de propietarios de aguas* que buscaban averiguar *la influencia recíproca de las diversas galerías.* El autor trataba de averiguar el origen del agua que alimenta las explotaciones de agua subterránea en el Valle. En lo relativo a la hidrología superficial, el interés del documento radica en la relevancia que se le concede a la lluvia horizontal en una época en la que el grado de conocimiento respecto de este recurso estaba todavía muy lejos del actual.

XV.1.1. Planteamiento

Dentro del Valle se distinguen dos enclaves: el correspondiente a *las aguas orientales que nacen en el macizo de Aguamansa* y el que en el frente opuesto ocupan las cuencas vertientes a los barrancos de *Godinez* y de *La Lora* así como la ladera de *Tigaiga*. En este segunda se contrastan las *precipitaciones acuosas* (lluvia convencional) con las *aguas utilizadas* (extracciones de agua subterránea). Para evaluar las primeras se sirve de los datos anuales que se venían registrando en cuatro centros de observación:

1. el Jardín de Aclimatación de La Orotava (1918-1923) a 100 m.s.n.m.
2. los Hermanos de las Escuelas Cristianas (1917-1923) a 300 m.s.n.m.
3. el Observatorio de Las Cañadas (1912-1915) a 2100 m.s.n.m.
4. el Observatorio de Izaña (1916-1918) a 2350 m.s.n.m.

En cuanto a las *aguas utilizadas* se vale de los aforos diarios medios en 20 galerías de la zona a lo largo de los años 1922 y 1923

XV.1.2. Resultados y Conclusiones

No se incluye ningún tipo de cálculo pero sí se hacen varias consideraciones respecto de la lluvia sobre el Valle que el autor caracteriza por:

- ✓ *Las grandes diferencias de pluviosidad de unos años a otros.*
- ✓ *La irregularidad estacional de las precipitaciones.*
- ✓ *Sobre todo, la pequeñez absoluta de las cifras…Con frecuencia se estacionan alrededor de los 200 mm, y sólo un caso se registra en que alcance los 1000.*
- ✓ *La precipitación máxima corresponde a la zona de nieblas y es menos considerable en los niveles superior e inferior de las mismas.*

Respecto de las *aguas utilizadas* se adopta el caudal conjunto diario de las 20 galerías: *81045 pipas en 24 horas* en el año 1922 y *71324 pipas en 24 horas* en 1923: *…en esos dos años el valle habrá venido a suministrar… unos 14,5 millones anuales. Suponiendo toda esta agua depositada sobre la superficie del valle, formaría una capa próximamente del espesor que tiene la que viene a caer un año con otro. Ahora bien, el agua absorbida no es más que una parte de la que cae... Y como del agua absorbida no toda ha de alumbrarse…resulta… que el agua subterránea alumbrada lo es en proporción mucho mayor que la correspondiente a las precipitaciones registradas.* Ante tal desequilibrio el autor hace estas nuevas consideraciones:

Tacha de *disparatada y absurda* la idea, que para muchos había sido *artículo de fé* , de que *el gran depósito de agua no sólo para el valle sino para la isla entera y aún para todo el Archipiélago, estaba en el inmediato y elevado circo de las Cañadas…Solamente las aguas de los niveles superiores…como las que alimentan los nacientes de Los Príncipes pudieran proceder del Teide y Las Cañadas. Resulta, pues, que hay que buscar el origen de las aguas del valle –al menos de la mayor parte de ella– en el valle mismo.* Ahora bien, la lluvia convencional en el Valle es inferior a las extracciones por lo que tiene que haber *otro origen del agua,* que no es otro que *la condensación del vapor acuoso de la atmósfera, que no suele tomarse en cuenta, y que yo creo el más importante no ya para Tenerife sólo, sino para el archipiélago.*

Después de aludir varias experiencias al respecto[10], al final concluía: *…creo poder afirmar que las aguas subterráneas del Valle de La Orotava son todas de origen atmosférico, que en su mayor parte proceden del valle mismo y que su principal origen es la* ***condensación directa del vapor atmosférico****, especialmente favorecida por la vegetación*

XV.1.3. Comentarios y Discusión

La conclusión final es perfectamente válida para la cornisa de la pared de Tigaiga pero no es extrapolable al resto del Valle. Sólo el primer frente de las nubes que conforman el clásico «mar de nubes» contactan con la ladera central del Valle, con lo que el agua de niebla captada y posteriormente precipitada apenas llega para humedecer el suelo, como así lo han constatado varios investigadores[11]. Son las nubes que ascienden por la ladera de Tigaiga y que, una tras otra, desbordan sobre su cresta las que dejan un aporte hídrico conjunto que sí puede superar al de la lluvia convencional.

---

[10] *En los montes del centro de Gomera, he visto entrar una niebla y escurrir a los pocos minutos el agua por los árboles, gotear éstos por todas sus hojas y formarse regatos y charcas en el suelo como si acabara de caer un copioso chaparrón….Igual fenómeno, …, lo he podido comprobar en el Monte Verde de La Orotava, en Las Mercedes y en cuantos lugares del archipiélago observé la entrada de una nube en el monte.*

[11] *…en el Valle de La Orotava …la precipitación de niebla es rara y estéril* (Kämmer-1974)
La precipitación de niebla es escasa sobre la vegetación del Valle (Santana-1987)

XV.2. EL BOSQUE Y EL AGUA EN CANARIAS

Veintisiete años después de redactarse el informe precedente, Luis Ceballos y Francisco Ortuño –Ingenieros de Montes– vuelven a plantear la misma cuestión:

> *Si se comparan las medias normales de las precipitaciones pluviométricas registradas por los distintos observatorios establecidos en la isla de Tenerife, con la naturaleza de las* ***masas forestales****..., habremos de observar con extrañeza la falta de correspondencia entre aquellas cifras y la indudable categoría de estas formaciones, caracterizadas por exigencias de humedad difícilmente compatibles con las precipitaciones registradas*
>
> *Otro problema que surge inmediatamente a la vista de las exiguas cifras registradas en los pluviómetros, es de cuál puede ser la fuente de abastecimiento de los inmensos caudales de agua, que año tras año son recogidos en galerías y perforaciones subterráneas, caudales…que no parecen corresponderse con la escasez de precipitaciones,….*

XV.2.1. Planteamiento

Trataban de demostrar que la lluvia real que recibe la isla no se corresponde con la que venían registrando los pluviómetros tradicionales. Para ello realizan un experimento en la misma zona, en concreto en la cornisa de Tigaiga:

> *El lugar elegido para el experimento fue el denominado Posada de las Vacas, [...] colocando el pluviómetro destinado a medir la precipitación horizontal bajo un copudo eucalipto que se yergue en solitario en un calvero de cerca de una hectárea de extensión... a suficiente distancia del tronco y bajo la masa foliácea, huyendo de las ramas gruesas... El pluviómetro testigo se situó a unos 25 metros de distancia del anterior, sin cubierta de ninguna clase…*

A los efectos de comparación con la lluvia convencional se sirvieron de las lluvias mensuales registradas a lo largo del año 1951 en 6 pluviómetros repartidos a lo largo y ancho del Valle de La Orotava.

XV.2.2. Resultados y Conclusiones

La experiencia se realizó de enero a diciembre (ambos incluidos) del año 1951. En el pluviómetro ubicado bajo el eucalipto se midieron 3038 mm; mientras que en campo abierto la precipitación convencional aportó 955 mm. La diferencia: 2.083 mm es, según los autores, la cantidad de agua de niebla precipitada sobre la parcela de suelo bajo el eucalipto; cifra ésta que les facultaba para deducir que:

> *En la zona de máximas precipitaciones de la isla, la que lógicamente ha de contribuir en mayor medida al abastecimiento de sus caudales subterráneos, el agua condensada por el arbolado supone una cantidad más de tres veces superior a la producida por las lluvias ordinarias. Toda la isla es en mayor o menor grado una inmensa cuenca de recepción de la que se alimentan los nacientes y galerías que riegan la zona cultivada…*

Al final del documento se incluye una figura con el perfil del terreno (Figura adjunta) en el que se representan las masas boscosas así como las seis estaciones pluviométricas con sus correspondientes registros de lluvia en todo el año 1951, reflejados en alturas. En la estación Posada de las Vacas, sobre las *precipitaciones normales* se superponen los 2.083 mm de *precipitación horizontal* medidos en dicha estación; medida ésta que se hace extensible a toda la zona de bosque. La lluvia media conjunta recibida por el Valle durante el año 1951 entre las cotas 450 y 1750 m.s.n.m. habría sido de unos 3025 L/m².

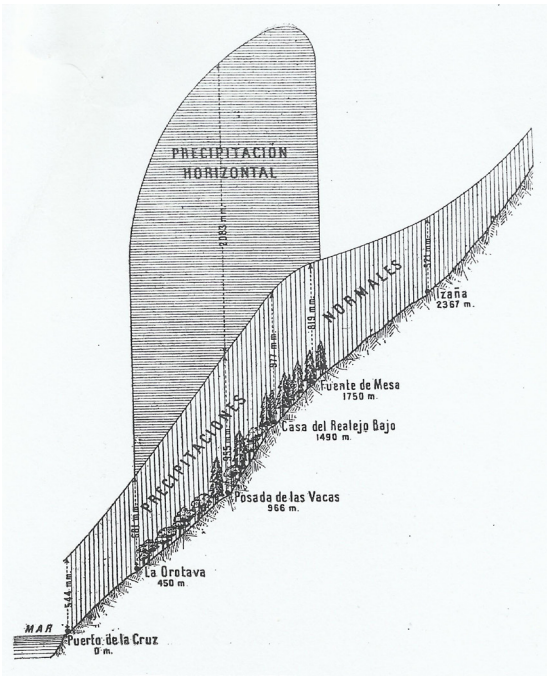


Figura 99. Distribución de la lluvia (PC+PAN) (año 1951) en el Valle de La Orotava.

XV.2.3. Comentarios

Años más tarde Franco Kämmer y Luis Santana realizaron experimentos también con árboles aislados; ahora bien, ambos reconocían que no debían extrapolarse al conjunto del bosque donde la densidad del arbolado obra en sentido contrario a la captación de agua de niebla y mucho menos al Valle de La Orotava donde además la dinámica de las nubes tampoco es favorable al fenómeno[12].

[12] Entre marzo de 1971 y marzo de 1972 Franco Kämmer realizó su experimento bajo un *pinus canariensis* deduciendo que durante ese período la PAN procedente de la captación del pino fue de 2.566 mm. Entre junio de 1985 y marzo de 1986 Luis Santana Pérez lo hizo bajo un *pino insigne* que precipitó un total de 710 mm de agua de niebla sobre el suelo.

XV.3. LOS ALUMBRAMIENTOS DE AGUA EN TENERIFE

La entrega número 6 del ANUARIO DE ESTUDIOS ATLÁNTICOS del PATRONATO DE LA CASA DE COLÓN (Madrid – Las Palmas) tiene por título LOS ALUMBRAMIENTOS DE AGUAS DE TENERIFE cuyo texto suscribió, en el año 1960, Joaquín Amigó de Lara del Instituto de Estudios Canarios. Uno de los apartados está dedicado al análisis de la pluviometría incluyendo, al respecto, un MAPA PLUVIOMÉTRICO del que merece destacarse la excelente definición de la lluvia media insular, tanto cuantitativa como de reparto territorial.

> *Las aguas meteóricas (lluvias y nieve) que caen sobre la Isla, a las que habría que agregar las de condensación directa sobre las zonas boscosas, producidas por el contacto de las nubes bajas, puede estimarse, según datos pluviométricos aproximados, en unos 950 millones de metros cúbicos al año. De ellas, aplicando coeficientes normales, podemos estimar la* ***infiltración*** *en un 35 por 100 y la* ***escorrentía*** *en un 25 por 100, con lo que aquélla sería del orden de 330 millones y ésta de unos 240 millones de metros cúbicos.*

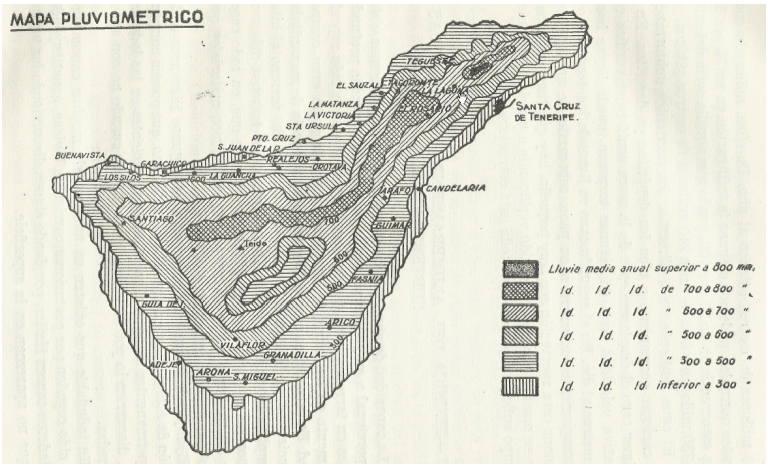


Figura 100. Mapa de la Pluviometría Media Insular – ANUARIO DE ESTUDIOS ATLÁNTICOS

El alto valor que se atribuye a la precipitación (950.000.00 $m^3 \equiv 461$ mm) se debe a que en dicha cifra se evalúan *las aguas meteóricas (lluvias y nieve)* junto con las de *condensación directa*, de las que el autor quiere dejar constancia clara de su existencia dedicándolas el párrafo que hemos subrayado por nuestra cuenta. Es de destacar que el valor estimado para esta precipitación conjunta media esté muy próximo con el del período histórico, deducido con los registros de los últimos 71 años (471 mm)

En el documento se valoran también la Infiltración: I = 160 mm y la Escorrentía: ES = 116 mm; la evaluación del cuarto elemento: la Evapotranspiración Real inmediata a partir de los otros tres: ETR = 185 mm.

XV.4. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE BASE EN LA ISLA DE TENERIFE

Dentro del marco del Proyecto Canarias SPA-15 se acometieron diversos trabajos en materia de hidrología, entre los que destacan los Estudios Hidrológicos de Base, los Balances Hídricos Insulares y los Estudios de Máximas Avenidas.

En el año 1965, desde el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) se llevó a cabo *un estudio*[13] *hidrológico completo planteado en base a un estudio estadístico de precipitaciones* …en base al cual *y a las características climatológicas, físicas, geomorfológicas, geológicas e hidrogeológicas se estimaron las aportaciones totales, superficiales y subterráneas*… El período de estudio se iniciaba en el año 1949 y finalizaba en 1964. Se aportaban los valores medios anuales de tres de los cuatro elementos básicos que participan en el BHI: **PT** = 463 mm; **ETR** = 300 mm y **E** = 60 mm. Por deducción: **I** = 103 mm.

XV.5. CLIMA Y VEGETACIÓN EN TENERIFE. CON ESPECIAL ATENCIÓN A LA PRECIPITACIÓN DE NIEBLA

La publicación de referencia, suscrita por Franco Kämmer, se edita[14] en el año 1974. Su autor describe en la Introducción el objeto del trabajo:

> *…el fenómeno designado como preciptación de niebla fue considerado de importancia esencial para los bosques de las islas Canarias, por las observaciones y mediciones practicadas hasta el momento. El objeto de las investigaciones,…, consistía en estudiar el aprovisionamiento de agua en si y documentarlo con datos de medición. Sin embargo al poco de haber empezado el trabajo sobre el terreno, se evidenció que las opiniones existentes sobre la distribución de la precipitación de niebla en Tenerife por estaciones zonas y acerca de su importancia ecológica para la vegetación, especialmente para la laurisilva, no correspondían a la realidad*.

Durante los años 1971 y 1972 promovió en esta isla investigaciones, mediciones y experimentos acerca de la captación natural y artificial de agua de niebla, pero sobre todo, de la precipitación de este recurso hídrico desde el arbolado[15].

XV.6. LA LLUVIA, UN RECURSO NATURAL PARA CANARIAS

María Victoria Marzol Jaén, autora de esta publicación[16], hace un detallado estudio de las características de las precipitaciones de lluvia en cada una de las islas del Archipiélago: sus causas, sus caracteres y su distribución espacial y temporal. Los cuatro capítulos en los que se estructura el libro son una referencia de su contenido:

---

13 Estudio Hidrológico de base de TENERIFE (1971). Rafael Heras et alt. CEH Madrid.

14 Editado por la cátedra de geobotánica de la Univesidad de Gotinga (Volumen VII). 1974.

15 Todas ellas reseñadas y comentadas en el libro: *La nube, el pino y la otra lluvia* –JJ Braojos-2015

16 Servicio de Publicaciones de la Caja General de Ahorros de Canarias - 1988

I. EL REPARTO DESIGUAL DE LAS LLUVIAS

II. ESTUDIO ANALÍTICO

III. CARACTERÍSTICAS DE LA LLUVIA EN 24 HORAS

IV. LAS LLUVIAS DIARIAS MÁS INTENSAS

XV.7. LA CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA EN TENERIFE

Entre la abundante bibliografía de la recién citada María Victoria Marzol Jaén quiero destacar esta publicación[17] del año 2003, pues tanto ésta como la del también citado Franco Kämer, fueron los dos principales «libros de cabecera» a partir de los cuales fui construyendo una metodología para la evaluación cuantatitativa y de distribución territorial del potencial de captación y de precipitación del agua de niebla en la isla.

María Victoria comenta en su Introducción:

El trabajo está organizado en tres partes que se concatenan entre sí: En la primera se aborda la descripción y el análisis del fenómeno estudiado, la niebla; los métodos y técnicas al uso para su análisis y el ensayo y la validación de otros métodos alternativos…La segunda parte se dedica a la revisión de los antecedentes, tanto históricos como ciéntificos, del estudio de la niebla y la obtención, utilizando sistemas no convencionales, del agua de nubosidad. Por último, el desarrollo del trabajo, los resultados obtenidos y las perspectivas de futuro es el contenido de la tercera parte de este trabajo y constituye el fin primordial de la investigación….

XV.8. HIDROLOGÍA Y RECURSOS HIDRÁULICOS EN ISLAS Y TERRENOS VOLCÁNICOS

En mayo de 2013 se publicó el libro de referencia. El párrafo siguiente, extraído literalmente de una de las presentaciones, resume su extenso y variado contenido donde la hidrología superficial, generalizada para todo el Archipiélago, dispone de sus correspondientes capítulos:

El contenido de este libro se estructura en 23 apartados a modo de capítulos ***que suman 556 páginas para abarcar el difícil objetivo de sintetizar el estudio del ciclo integral del agua en una isla volcánica****, desde los conceptos básicos de geología y vulcanismo hasta la gestión y aprovechamiento del recurso hídrico, así como su evolución histórica y los recursos patrimoniales que hoy configuran, donde se interseccionan desde una perspectiva integrada diferentes disciplinas científicas: Hidrología, Geología, Física, Historia, Etnografía…*

[17] Servicio de Publicaciones de la Caja General de Ahorros de Canarias - 2003

En la redacción de las distintas temáticas han intervenido varios autores[18].

XV.9. LOS ANÁLISIS CLIMÁTICOS DE AGROCABILDO

La página web AGROCABILDO contiene, entre otras, la sección *AgroMeteorología Análisis climático* en la que se incluyen estudios climáticos realizados a partir de los datos obtenidos en la red de estaciones agrometeorológicas del Cabildo Insular de Tenerife. De entre ellos, mencionamos tres a los que su autor, Luis M. Santana Pérez, hizo análisis extensivos a la totalidad de la isla respecto de la precipitación horizontal (PAN); la evapotranspiración de referencia (ETo) y la precipitación convencionals (PC):

- *LA PRECIPITACIÓN DE NIEBLA EN TENERIFE* (1987)

Citado y comentado en presente libro pero sobre todo en el ya citado: *La nube, el pino y la otra lluvia*.

- *EVAPOTRANSPIRACIÓN PENMAN-MONTEITH ANÁLISIS AÑO 2008* (2010)

En su momento, nos servimos de la información aportada en este trabajo para verificar la fiabilidad de los valores deducidos en el MHSup con respecto a este elemento agroclimatológico pero aplicable en hidrología.

- *PLUVIOMETRÍA DE TENERIFE 1920−2010. EFEMÉRIDES Y DESCRIPCIÓN DE TORMENTAS*

El título es suficientemente descriptivo del contenido del documento.

NOTA: Volvemos a señalar que la relación de documentos que aparecen en estos dos últimos capítulos no alcanza a ser sino una muestra de las muchas publicaciones existentes acerca de la hidrología superficial de Tenerife. Por otro lado, también advertimos al inicio que los documentos más antiguas serían objeto de una más amplia exposición dada su más compleja accesibilidad. De los más recientes sólo se hace una sucinta referencia para que el lector si está interesado en su contenido acuda a la publicación, incluso en algún caso, vía digital.

[18] J. Carlos Santamarta Cerezal; M. Carmen Cabrera Santana; Emilio Custodio Gimena; Sebastián N. Delgado Díaz; Jaime J. González Gonzálvez; Arturo Hardisson de la Torre; L. Enrique Hernández Gutiérrez; Cintia Hernández Sánchez; C. Concepción Jiménez Mendoza; Jonay Neris Tomé; Luis M. Santana Pérez; J. Antonio Rodríguez Losada; Jésica Rodriguez Martín; Francisco Suárez Moreno; Amanhuy Suárez Pérez; Marisa Tejedor Salguero y Eustaqui Villalba Moreno.

B L O Q U E 4º

EL APROVECHAMIENTO

DE

LAS AGUAS
DE
ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

CAPÍTULO XVI
TIPOS DE APROVECHAMIENTO

XVI.1. ALGUNAS NOTAS HISTÓRICAS

A mediados del siglo pasado el número de aprovechamientos de este recurso hídrico en la isla –2034 km^2–, era superior a 200; más de la mitad eran simples tomaderos, aunque el conjunto de pequeñas, medianas e incluso grandes presas (hasta 15) también era relativamente numeroso.

Un dato significativo al respecto es el que nos ofrece la estadística de solicitudes de autorización a la Administración Hidráulica para aprovechar las aguas circulantes por los cauces de los barrancos: más de 200 entre los años 1855 y 1940. Ya hemos comentado que durante los años finales de la década de los veinte y los iniciales de la siguiente, se duplicó el ritmo de peticiones, coincidiendo tal circunstancia con un período –la citada década de los años veinte– extremadamente húmedo. Además, el interés por estas iniciativas se fomentó institucionalmente desde el Consejo Provincial de Fomento de Canarias que en 1916 edita el ya referido documento *Estudios sobre Riegos* (apartado XIV.3) en el que se instaba a los agricultores del sur de la isla a la construcción de presas en varios barrancos; en concreto entre el Valle de Güímar y Arona se proponía la ejecución de más de 100 embalses con una capacidad conjunta de alrededor de 7.000.000 m^3; todos ellos con el objetivo de almacenar aguas de escorrentía superficial. El origen de algunas de las pequeñas presas que jalonan algunos barrancos del sur pudiera haberse debido a esta propuesta.

Lo cierto es que en la actualidad muchas de aquellas presas o están abandonadas o han cambiado su funcionalidad. Sólo los tomaderos de aprovechamiento local subsisten aún, en su mayoría.

XVI.2. LOS AZUDES O TOMADEROS

XVI.2.1. De captación de aguas de manantiales.

El agua de escorrentía de la lluvia no es el único recurso superficial; ciertas aguas de origen subterráneo, emergidas a superficie, también tienen el carácter de tales; son las ya comentadas escorrentías de «ribera». El agua que circula por algunos barrancos vertida desde algún acuífero colgado es también agua meteórica que ha participado en el ciclo hidrológico como agua infiltrada al subsuelo para alimentar dichos acuíferos; por tanto, le cabe el doble tratamiento de recurso renovable superficial o subterráneo. Podría asegurarse que este tipo de recurso es aprovechado casi en su totalidad allí donde aparece. En general, se trata de corrientes de agua con caudales cuya cuantía no supera los límites razonables para su captación y transporte.

Como orden de magnitud, los nacientes de La Caldera de Taburiente en la isla de La Palma aportan al cauce del barranco de Las Angustias unos caudales que

pueden alcanzar los 700 L/s después de los inviernos más lluviosos, siendo el caudal medio de unos 350 L/s (10,5 hm^3/año). Pues bien, en Tenerife el aforo más caudaloso es de unos 22 L/s (0,7 hm^3/año) que manan del acuífero colgado que se localiza en la cabecera del barranco de El Río –límite entre los términos municipales de Arico y Granadilla–. Los nacientes del barranco de El Infierno conforman la única fluencia de agua subterránea procedente del acuífero profundo, cuyo caudal medio ha venido descendiendo hasta los 3 L/s actuales.

En el resto, los caudales son mucho menores y su aprovechamiento se realiza con obras de escasa envergadura. A veces basta con un pequeño dique transversal al cauce, que interrumpe la corriente de agua para su uso inmediato o su almacenamiento en un pequeño estanque cercano. En los barrancos de Anaga-Sur llegaron a inventariarse más de 100 obras de este tipo. Precisamente, en los cauces de estos barrancos la escorrentía indirecta, complementada con la de «ribera», suele prolongar su fluencia durante semanas después de las lluvias; incluso en las cabeceras se mantiene todo o casi todo el año debido a que a las escorrentías de la lluvia convencional se les unen las que proporciona la lluvia horizontal cuya época de mayor producción coincide con los meses de primavera-verano.



Figura 101. Diques «naturales» usados como tomaderos.
El murete de retención del agua es un «dique» natural (recrecido en algún caso), de los muchos que afloran en la península de Anaga cruzando transversalmente cauces de barrancos.

Una vez que cesa la escorrentía directa –torrencial y turbulenta– y se inicia la escorrentía indirecta –reposada y cristalina– basta con construir un pequeño dique con material del entorno (Figura adjunta superior izquierda) para desviar parte del caudal circulante hasta una tanquilla receptora (Figura adjunta superior derecha) de la que parte un conducto que deriva el agua hasta los estanques de cabecera de riego de pequeñas fincas de cultivo localizadas en el entorno. En la imagen inferior izquierda es un murete de hormigón el que interrumpe la corriente, del que se

deriva el agua captada a través de un canal adosado a la margen del barranco. En la imagen inferior derecha desde el murete interceptor de las escorrentías parte el canal de derivación, labrado en la roca de la margen derecha.



Figura 102. Tomaderos con obra de fábrica.

XVI.2.2. De captación de aguas de escorrentía generadas con la lluvia

Las aguas de escorrentía generadas directamente por las lluvias que circulan por los cauces de la isla conforman los verdaderos recursos superficiales renovales. Su disponibilidad es muy baja en relación con la cantidad de lluvia que recibe la isla pues se estima que de los 957 hm^3/año de agua de lluvia media insular (convencional + horizontal entre 1944/45 y 2014/15) sólo unos 60 hm^3/año llegan a circular por los cauces insulares; de éstos unos 35 hm^3/año se infiltran en el subsuelo en su recorrido hacia el mar y sólo unos 23 hm^3/año alcanzan la costa; alrededor de 1,5 hm^3/año es interceptado y derivado de los cauces para su almacenamiento.

En este caso, el tomadero suele tener mayores dimensiones y se complementa con un conducto para transportar el agua captada hasta algún embalse cercano donde se almacena.



Figura 103. Tomadero con rejilla superior para evitar los arrastres sólidos.

Cuando el embalse se encuentra en el interior de un barranco y a éste se le ha encauzado entre una de sus márgenes y el muro del embalse, se dispone en éste un tomadero de compuerta que permite la entrada, a discreción, de las escorrentías.



Figura 104. Tomadero de compuerta anejo a la balsa (semiabandonada) y tomadero con canal de derivación hasta la infraestructura de almacenmaiento.

XVI.2.3. Relación

TOMADEROS DE BALTEN			
Nombre	**Municipio**	**Balsa**	**Q**
Las Portelas I y II	Buenavista del Norte	El Palmar	0,20
Bco. Las Lubes I y II	Buenavista del Norte	Mtña. de Taco	0,14
Bco. Las Lindas I y II	Buenavista del Norte	Mtña. de Taco	0,14
Bco. Los Camellos	Buenavista del Norte	Mtña. de Taco	0,50
Talaverita	Buenavista del Norte	Mtña. de Taco	0,39
Pina (bco. Los Andenes)	Los Silos	Mtña. de Taco	0,50
Bco del Agua	Los Silos	Mtña. de Taco	0,50
Moraditas (bco. C. Negras)	Los Silos	Mtña. de Taco	0.30
Bco. El Remate	La Guancha	La Tabona	0,30
Bco. Ruiz	San Juan de La Rambla	Llanos de Mesa	4,00
El Colegio	Los Realejos	Cruz Santa	0,25
Bco. Benijos	La Orotava	Bco. Benijos	0,50
Bco. San Antonio	La Matanza	San Antonio	0,60
Bco. Las Cuevas	Tegueste	Valle Molina	9,00
Bco. El Infierno	Tegueste	Valle Molina	0,63
Bco. La Zoca	Tegueste	Valle Molina	0,31
Bco. de Santos	La Laguna	Valle Molina V. San Lorenzo	0,10 0,14
Bco. La Vica I y II	Vilaflor	Trevejos	1,00
OTROS			
Bco. de El Río	Arico-Granadilla	Riego directo	0.10
Bco. de El Infierno	Adeje	Riego directo	0,03
Las Torres I, II y III	Adeje	La Atalaya	0,20

Tabla 30. Tomaderos activos y capacidad del conducto de derivación (Q) en m^3/s

Además de los señalados, existen decenas de pequeños tomaderos repartidos por los barrancos de la isla; el mayor número de ellos en los cauces de Anaga.

XVI.3. LAS PRESAS

Son estructuras artificiales conformadas por un dique que intercepta el curso del agua en el cauce de un barranco para crear un depósito de almacenamiento.

Los mismos condicionantes geomorfológicos que limitan la formación de aportes superficiales de lluvia, también inciden negativamente a la hora de acometer su aprovechamiento mediante presas, pues hay que afrontar:

- cerradas con bajas capacidades de almacenamiento.
- un costoso mantenimiento[1].

[1] La torrencialidad de las precipitaciones, unida a la fragilidad de los suelos de cobertera, generan gran cantidad de arrastres sólidos que acaban colmatando el vaso de los embalses.



Figura 105. Presa de Ciguaña, en Granadilla con gran cantidad de depósitos en el vaso (CIMA)

Además, la denominada permeabilidad secundaria genera pérdidas por infiltración que no son compensadas por corrientes continuas de agua. No basta pues con que la roca de caja de la cerrada disponga de una permeabilidad primaria baja; en mas de un caso se ha impermeabilizado el vaso de presa para impedir las fugas.

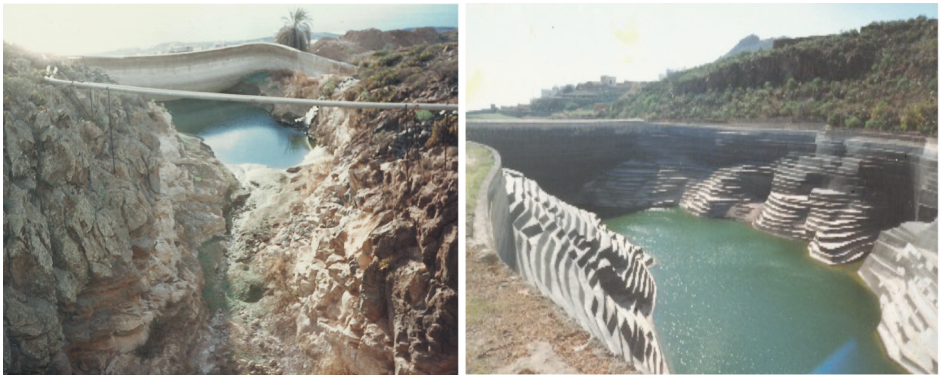


Figura 106. Presa en el barranco de Iboibo (Adeje) y presa de Jimenez (San Miguel)
En la primera la roca de caja aflora en el vaso. En la segunda, el vaso se ha impermeabilizado

XVI.4. LAS BALSAS

Existen dos variantes, según su estructura:

1. **Artificial**: la obra de almacenamiento se crea a partir de la construcción de un muro o dique cerrado, conformando el embalse en su interior.
2. **Natural**: en este caso se aprovecha o se crea una depresión en el terreno, protegiendo los taludes y el fondo mediante láminas impermeabilizantes para evitar filtraciones; o sin la lámina cuando el suelo es tosca o arcilla.

Éstos tipos de balsa vienen a ser las denominadas «charcas» o «maretas».



Figura 107. Balsa de La Atalaya (Adeje)y balsa de San Antonio (La Matanza) (CIATF y BALTEN))



Figura 108. Presa y Charcas en Valle Guerra (Tejina - La Laguna) (Orto Express Urbana)

En próximos capítulos se retoma el análisis de las balsas y las presas.

XVI.5. DERIVACIÓN Y ALMACENAMIENTO: CAPACIDAD

XVI.5.1. Para las Aguas de Escorrentía Superficial.

La capacidad conjunta de **derivación** de las aguas de escorrentía superficial desde el conjunto de tomaderos es de unos 20 m^3/s. La capacidad disponible en presas y balsas para **almacenar** aguas superficiales es imprecisa ya que, en ambos medios, comparten estancia con aguas subterráneas o incluso con recursos no convencionales. De la experiencia obtenida con las explotaciones de BALTEN se estima una disponibilidad en las balsas de 1,5 hm^3, y 1 hm^3 en las presas, en general.

XVI.5.2. Para las Aguas Superficiales de Origen Subterráneo

El aprovechamiento conlleva la captación del recurso, mediante tomaderos, y su derivación a través de conductos para su almacenamiento en pequeños estanques o su uso directo. Sólo se dispone de datos aislados por lo que se estima que la capacidad de derivación conjunta es de unos 100 L/s.

XVI.6. VOLÚMENES APROVECHADOS

XVI.6.1. Aguas Superficiales de Origen Subterráneo

No todas las aguas de manantiales acceden a los cauces; buena parte se intercepta en el mismo naciente. De las que circulan por los cauces se aprovechan entre 25 y 30 L/s (cerca de 1 hm^3/año). Individualmente los aportes más importantes son los comentados del barranco de El Río (0,55 hm^3/año) en el término de Granadilla, de los barrancos de Anaga (0,25 hm^3/año) en La Laguna-Santa Cruz y los del barranco de El Infierno (0,07 hm^3/año) en Adeje.

XVI.6.2. Aguas de Escorrentía Superficial.

De los 40 hm^3/año de agua de escorrentía que llegan a los cauces (60 hm^3/año en el período histórico), durante las últimas décadas han sido captados y almacenados entre 1,5 y 2 hm^3/año.

XVI.7. DISPONIBILIDAD Y APROVECHAMIENTO

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS					
ATMOSFÉRICOS hm^3/año	Disponibilidad	Lluvia Eficaz	SUPERFICIALES hm^3/año	Disponibilidad	Aprovechados
LLUVIA CONVENCIONAL+NIEVE	766	287	DE ORIGEN SUBTERRÁNEO	6	1,0
LLUVIA HORIZONTAL	93	16	DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	60	1,5
TOTAL	859	303	TOTAL	66	2,5

Tabla 31. Situación «actual» de los Recursos Atmosféricos y Superficiales (1985/86-2014/15).

Unos 16 hm^3/año de lluvia horizontal alcanzan el multiacuñifero insular de forma directa.

CAPÍTULO XVII
LAS PRESAS DE TENERIFE

XVII.1. LAS PEQUEÑAS PRESAS

En Tenerife es difícil encontrar lugares siquiera medio aceptables para emplazar obras de este tipo. Donde las dimensiones del barranco permiten disponer de una cerrada amplia es porque, probablemente, los materiales entre los que discurre son fácilmente erosionables además de muy permeables y, por tanto, no aptos para contener el agua. Donde los materiales son estancos, las corrientes de escorrentía sólo habrán conseguido labrar un pequeño cauce en el que un muro de cerramiento apenas cubicará, aguas arriba, unas decenas de metros cúbicos.

De cualquier forma, en esta isla se han construido un buen número de presas, sobre todo en la vertiente sur. En aquellos lugares donde se comprobaba la estanqueidad del embalse se resolvía la comentada limitación de capacidad de almacenamiento con la ejecución de más de una obra a lo largo del barranco.

En la isla son más numerosas las pequeñas presas que las grandes presas.



Figura 109. Pequeña Presa y gran Presa (El Río) (CIATF).

XVII.2. LAS GRANDES PRESAS

Se consideran «grandes» presas aquellas que tienen más de 15 metros de altura o las que teniendo entre 10 y 15 metros disponen de un volumen de almacenamiento superior al hectómetro cúbico. En la isla de Tenerife existen 15 presas que cumplen alguna de estas condiciones[2].

[2] Gran parte de la información que se ofrece en este apartado ha sido extraída del estudio: *Evaluación de los requerimientos de control y auscultación de las presas del archipiélago y la determinación de los elementos de control y auscultación necesarios en cada una de ellas* contratado por la Dirección General de Aguas de la Consejería de Obras Públicas y Transportes del Gobierno de Canarias a la empresa CIMA y suscrito por Emilio Alsina Pérez.

DATOS GENERALES				
PRESAS DE MAMPOSTERIA				
PRESA	**Municipio**	**Año Construcción**	**Altura** (m)	**Volumen Embalse** (hm^3)
Tabares	La Laguna	1915	25	0,12
Cuchillo	S/C de Tfe	1919	17	0,12
Tahodio	S/C de Tfe	1927	40	0,41
Curbelo o Presa Nueva	Adeje	1928	20	0,21
Charca Ascanio	La Orotava	1929	26	0,30
Tijoco	Adeje	1948	18,5	0,13
Pasada del Camello	Guía	1954	24	0,10
Tamaide	San Miguel	1956	25	0,14
Ciguaña	Granadilla	1956	15	0,16
Garcés o Abama	Guía	1962	20	0,15
Los Laureles	Tegueste	1965	18	0,25
Barranco La Granja	Arafo	1972	28	0,85
Aguamansa	La Orotava	1988	29	0.15
PRESAS DE MATERIALES SUELTOS				
Los Campitos	S/C de Tfe	1975	54	2,09
PRESAS DE HORMIGÓN				
El Río	Arico-Grana	1980	53,8	0,50

Tabla 32. Datos Generales de las Grandes Presas de la isla de Tenerife

A excepción de la presa de Los Campitos, las restantes presas se construyeron con la intención de interceptar y almacenar aguas de escorrentía superficial; aportes que en algún caso compartían estancia con aguas subterráneas de pozos o galerías. En la actualidad, cuatro de ellas: Charca de Ascanio, Tijoco, Tamaide y Garcés tienen cerrado el acceso de las escorrentías de barranco, dejándolo habilitado únicamente para las aguas subterráneas en la primera y además para las desaladas de mar en las tres últimas, destinadas éstas al consumo urbano-turístico.

DATOS DE EXPLOTACIÓN				
PRESA	**Titularidad**	**Aporte de Agua a la Presa**	**Cuenca Tributaria** (barranco)	**Uso**
Tabares	Privada	Superficial	Tabares	Riego
Cuchillo	Privada	Superficial	Bufadero	Riego
Tahodio	Privada	Superficial	Tahodio	NO
Curbelo o Presa Nueva	Privada	Ninguno		NO
Charca Ascanio	Privada	Subterránea		Riego
Tijoco	Privada	Subterránea		Urbano
Pasada del Camello	Privada	Sub + Sup	La Ermita	Riego
Tamaide	Privada	Subterránea		Urbano
Ciguaña	Privada	Superficial	La Orchilla	NO
Garcés o Abama	Privada	Sub + Sup	Chabugo	Ocio
Los Laureles	Privada	Superficial	Las Tapias	Riego
Barranco La Granja	Privada	Sub + Sup	Risco Tierra	Riego
Aguamansa	Pública	Sub + Sup	La Arena	Riego
Los Campitos	Pública	Ninguno		NO
El Río	Pública	Superficial	El Río	NO

Tabla 33**.** Datos de Explotación de las Grandes Presas en la isla de Tenerife

Otras tres presas: Tahodio, Curbelo y Ciguaña están fuera de servicio desde que desaparecieron, bajo suelos urbanizados, las fincas de riego a las que se destinaba el agua que recogían. La presa de El Río nunca ha estado operativa debido a que las pérdidas por infiltración en el vaso apenas permitían una semana de permanencia del agua en el embalse.

Sólo seis explotan todavía aguas de escorrentía superficial, aunque en tres de ellas: Pasada del Camello, Barranco de La Granja y Aguamansa, su principal sustento son las aguas subterráneas. En definitiva, solamente tres «grandes» presas: **Tabares**, **El Cuchillo** y **Los Laureles** se mantienen desde su inicio explotando exclusivamente aguas de escorrentía superficial. No es casualidad que las tres tengan su localización en barrancos del denominado macizo o península de Anaga.

XVII.3. LAS PRESAS DE ANAGA

XVII.3.1. Introducción

La península de Anaga y el macizo de Teno, constituyen enclaves de específicas cualidades orográficas y geológicas, sobre las cuales es lógico suponer escorrentías abundantes, habida cuenta de las pendientes extraordinariamente elevadas de sus laderas y barrancos y de la naturaleza de su substrato geológico, a base de materiales de la Serie Basáltica I, relativamente impermeables. De hecho, las dos terceras partes de los 22 hm^3/año de agua de escorrentía que vierten al mar los barrancos lo hacen a través de ambos enclaves a razón de 0,20 hm^3/año/km de costa.

En Teno los aprovechamientos de aguas superficiales, por lo general, no son sino pequeñas tomas del agua generada por las escorrentías de «ribera» que, procedentes de acuíferos locales, afloran al exterior a través de manantiales, galerías-naciente y túneles para acabar derramando sobre el cauce más cercano. Por el contrario, en Anaga sí han sido y son comunes las explotaciones de aguas de escorrentías superficial mediante cerramientos de presa en el cauce o con tomadero y conducto de derivación hacia un embalse.

XVII.3.2. Las presas del barranco de «Agua de Dios» o de «Las Tapias»

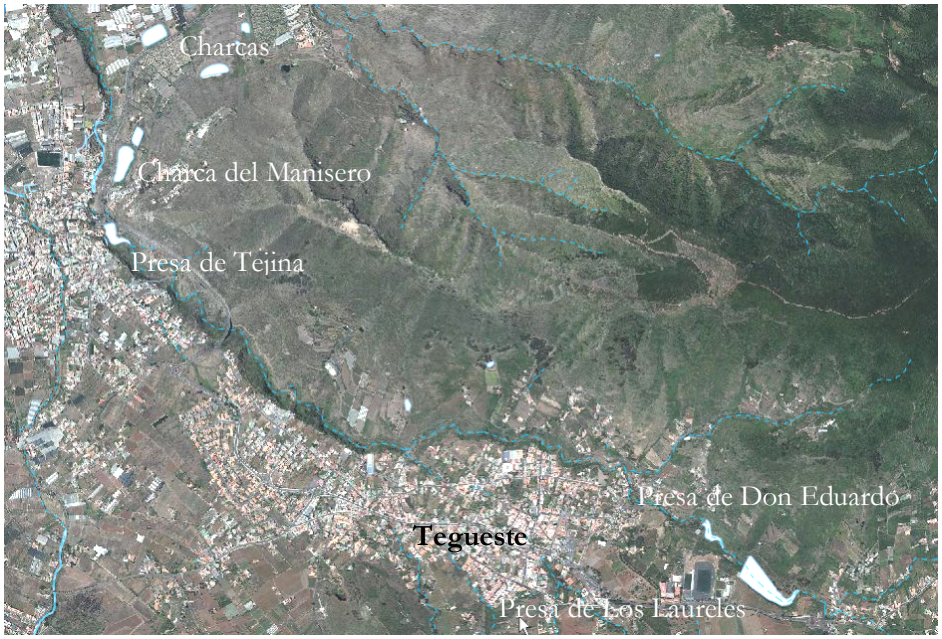


Figura 110. Presas en el barranco de Agua de Dios o de Las Tapias. (Orto Express)

Desde tiempo inmemorial se venían aprovechando, mediante pequeños tomaderos y acequias, las aguas que discurrían por el cauce del barranco de Las Tapias, también conocido como de Las Lajas o de Agua de Dios. No obstante, no es sino

a principio del siglo XX cuando se inicia efectivamente la explotación de las escorrentías superficiales que se generan en su cuenca vertiente.

- El 3 de agosto de 1903 se otorgó la primera concesión administrativa para aprovechar las aguas públicas que discurren por el cauce en la presa conocida por **Charca de Don Eduardo** de 14.864 m^3 de capacidad.
- Años más tarde, el 3 de junio de 1914 se otorga una concesión similar que da lugar a la construcción de la denominada **presa de Tejina** en el cauce del barranco a su paso por este núcleo urbano de Tejina.
- A partir de una nueva concesión, otorgada el 25 de mayo de 1959 se construyó, 150 metros por encima de la primera, la **presa de Los Laureles**, conocida por Charca de Don Hipólito; ambas en el municipio de Tegueste. Los 114.155 m^3 de capacidad inicial se fueron ampliando mediante ensanches laterales y rebajes de piso a unos 250.000 m^3.

XVII.3.3. Las presas del barranco de Santos

La cuenca hidrográfica del barranco de Santos por superficie y volumen de aportaciones es de las más importantes de Canarias.

Hasta mediados del siglo pasado los terrenos localizados por encima del casco urbano de Santa Cruz los ocupaban fincas de cultivos cuyo riego se suministraba principalmente con las aguas de escorrentía de los barrancos de Anaga. Es obvio que hasta esas fechas las aportaciones del barranco de Santos tuvieron que ser objeto de una intensa explotación. Un par de párrafos extraídos del libro de Cola Benitez (1986): *Los Barrancos de Añazo*, bastan para corroborar tales supuestos:

> *En 1811 se hace la primera de las presas que se construyeron en el barranco de Santos, por iniciativa de algunos propietarios de fincas en la zona conocida por la Cosa, al Sur de la ciudad, ejemplo que pronto tuvo imitadores y que se fue complementando con la construcción de atargeas y canalizaciones. Tal es así que la segunda se levantó dos años más tarde en la zona del Perú para conducir aguas a terrenos de San Sebastián y Regla. Otras se hicieron por acciones como la que se construía en 1860 más arriba del puente Zurita, y otra, en 1867, con capacidad para 120.000 metros cúbicos de agua y capaz de regar 450 hectáreas de terreno. En este último año se anunciaba la construcción de dos más.…Todas ellas, hasta ocho, se encuentran actualmente inutilizadas, destruidos los muros de contención.…*

La expansión urbanística de la ciudad, hizo desaparecer las fincas de cultivo que se regaban con el agua de tales presas. No obstante, en la segunda mitad del siglo pasado se sucedieron dos proyectos de aprovechamiento de las escorrentías del barranco Santos con diferente suerte en cada caso. En el primero se contemplaba su derivación hasta la presa de Los Campitas (Plan Operativo de Los Campitos (POC)). En el segundo, el agua se derivaría a la balsa de Valle Molina en Tegueste. A ambas le dedicamos su apartado correspondiente en posteriores capítulos.



Figura 111. Presa en Risco Grande en el barranco de Santos en Santa Cruz.
Totalmente colmatada por los arrastres del barranco. Se tiene previsto reconvertirla en dique de retención de acarreos (CIATF).

XVII.3.4. La presa de Tahodio

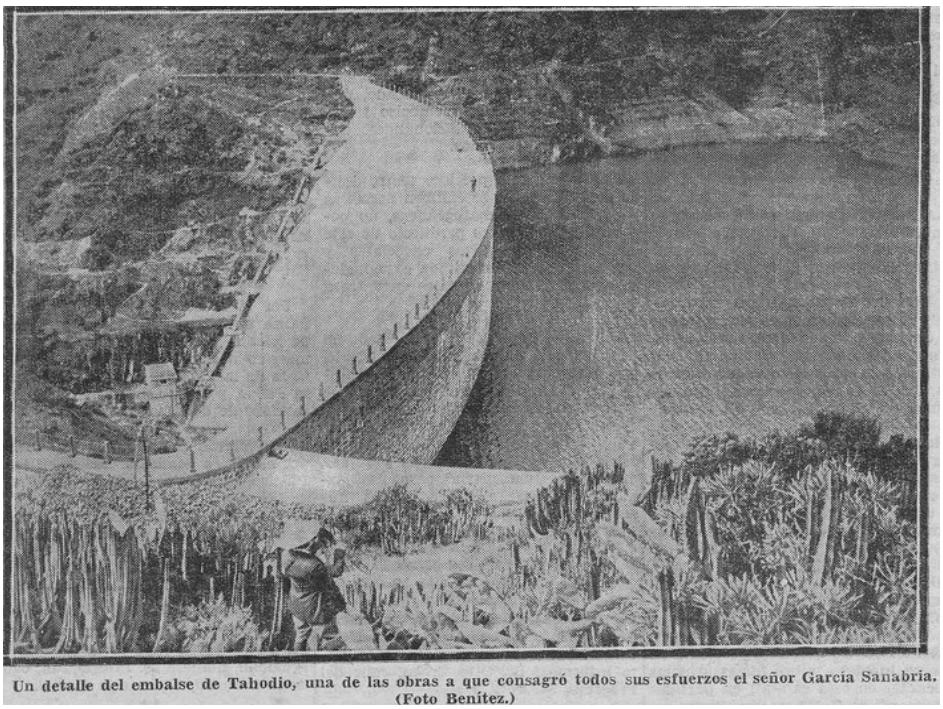


Figura 112. Presa de Tahodio
Imagen obtenida de una comunicación expuesta en Internet por Miguel A. Noriega Agüero quien a su vez aporta la fuente original: el periódico La Prensa del día 18 de mayo de 1935

La **presa de Tahodio** merece ser calificada como la obra de aprovechamiento de aguas de escorrentía superficial más importante de la isla, dada su envergadura, su capacidad de almacenamiento y la extensa cobertera de riego que proporcionó en su día a los campos agrícolas capitalinos.

Después de varios años de madurar la idea –el primer proyecto de construcción es de 1903– en el año 1913 la Comunidad Embalses de Tahodio –cuyo administrador era Santiago García Sanabria que fuera más tarde alcalde de Santa Cruz– encargó el proyecto definitivo al arquitecto Antonio Pintor. Las obras se iniciaron en el año 1914 al mismo tiempo que se tramitaba ante la administración hidráulica la pertinente concesión administrativa para explotar las aguas públicas discontinuas que discurren por el barranco de Tahodio; concesión que fue otorgada en el año 1916. La obra así como la larga acequia que transportaría el agua hasta las inmediaciones de Hoya Fría no tuvieron su culminación hasta el año 1927.

Como sucediera con las comentadas presas del barranco de Santos, su actividad fue yendo a menos conforme desaparecían bajo el suelo urbano las primitivas tierras de cultivo, receptoras de sus aguas durante décadas. Sin embargo, a diferencia de aquéllas, sólo el canal de transporte ha desaparecido en gran parte de su recorrido; el embalse se encuentra todavía en disposición de recibir y almacenar las aguas de escorrentía que se generan en el Monte de Aguirre, cabecera de cuenca del barranco de Tahodio. No obstante, ante la imposibilidad de hacer uso del agua, ésta se drena al cauce del barranco por los desagües de salida.

XVII.3.5. Las otras presas de Anaga

En la vertiente norte de Anaga no existen más presas que las tres localizadas en el barranco de Las Tapias o de Agua de Dios, ya reseñadas. En la vertiente sur, a la **presa de Tabares** o de **Reverés** finalizada en 1916 le cabe la distinción de haber sido la primera «gran» presa construida en la isla de Tenerife; acumula pues un historial de más de **cien** años de explotación. La presa también perdió desde hace años los destinatarios originales del recurso almacenado; no obstante, determinadas circunstancias, que se comentan más adelante, han posibilitado el aprovechamiento de sus aguas con vocación de futuro.

La denominada **presa de Fumero** era de gravedad; tenía 8 metros de altura sobre el plano de cimientos y retenía hasta 7.000 m^3 del agua de escorrentía circulante por el barranco de La Leña. El abandono de las fincas de cultivo bajo su influencia la dejó inactiva. Con ocasión del nefasto temporal de lluvia del día 31 de marzo de 2002 la presa acumuló más de 2.500 m^3 de arrastres de barranco, actuando como un auténtico cuenco retenedor de acarreos; función que sigue ejerciendo en la actualidad después de que se le hicieran las reformas precisas.

La **presa del Cuchillo**, se localiza en el barranco del mismo nombre, también conocido como de Valle Crispín, afluente éste por la izquierda al barranco del Bufadero. Por sus dimensiones es la cuarta «gran» presa de la vertiente sur de Anaga. Todavía sirve agua para el riego a varias pequeñas fincas del entorno.

En simetría con la anterior, en el barranco de **Valle Grande**, también afluente, en este caso por la derecha, del barranco del Bufadero, una antigua pequeña presa ha sido reconvertida, al igual que la de Fumero, en cuenco de retención acarreos.

En el barranco de **Cueva Bermeja** se localiza otra pequeña presa sin uso desde hace años. Finalmente en el barranco de **Valle Marcos**, afluente por la izquierda del barranco del Cercado en San Andrés, un pequeño muro en la margen izquierda hace las veces de tomadero y de represa para las aguas de escorrentía del barranco.



Figura 113. Presas en los barrancos de Anaga norte. (Orto Express)



Figura 114. A la misma escala, la presa de El Cuchillo y la de Valle Marcos (Orto Express)

XVII.4. APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN LA PRESA DE AGUAMANSA

La Balsa de Aguamansa, en el término municipal de La Orotava, fue la octava de las 10 construidas dentro del Plan de Balsas del Norte de Tenerife, ejecutada entre 1986 y 1988, con un presupuesto de liquidación de 1,60 M€ financiado por el Cabildo Insular de Tenerife.



Figura 115. Presa-Balsa de Aguamansa, con vistas aéreas desde aguas arriba y abajo (BALTEN).

Con 148.100 m^3 de capacidad y 18,00 m de altura de agua útil, fue la única de aquel Plan ejecutada con pantalla de hormigón armado, y no fue otra la razón –en aquel tiempo– que las características del emplazamiento; –geológicamente– la alternancia de compactos de coladas y capas de escorias hacían al mismo un auténtico «colador» que requería necesariamente de impermeabilización artificial; –geométricamente– el perfil en «V» del barranco –el de La Arena–, como así lo aparenta la imagen adjunta, impedía tender los taludes para poder alojar unos materiales —las geomembranas sintéticas— que en aquella época iniciaban su gran

expansión y desarrollo en el campo de la impermeabilización de pequeños embalses, sobre todo, en la zona del Levante español, que se copió y mejoró de forma palpable en Tenerife y posteriormente en la Isla de La Palma.

El avance en las tres décadas posteriores de la técnica de los materiales *sintéticos* y la experiencia adquirida por los servicios técnicos de BALTEN en el manejo de los mismos, respaldaron en el año 2017 el acometimiento de la impermeabilización del embalse, ya que las pérdidas a través de la pantalla construida inicialmente no resultaban asumibles en la explotación cuando el embalse sobrepasaba los 10 m de altura de agua.



Figura 116. Impermeabilización de la balsa de Aguamansa.

Las obras contemplaron la colocación de 19.000 m^2 de geomembrana de PVC-P de 1,5 mm –sobre geotextil–, protegida por una losa de hormigón en el fondo y berma, para facilitar la limpieza con maquinaria.

XVII.4.1. Datos generales

Por encima de la presa discurre el canal Aguamansa–Santa Cruz, una de sus fuentes de suministro de agua subterránea junto con las procedentes de algunas de las galerías de la Comunidad de Aguas Las Cumbres.

La escorrentía superficial le llega directamente de las cuencas de los barrancos de Las Madres o de La Puente y de la Punta de la Baranda o de Quiquirá, ambos afluentes del barranco de La Arena, cuyo punto de confluencia coincide, precisamente, con el emplazamiento de la balsa.

CUENCA: LAS MADRES			ANÁLISIS HIDROLÓGICO		
cota en cabecera	2.250	m	período de estudio	1950 a 1980	
cota en la presa	950	m	T de concentración	0,75	hora
superficie	7,1	km2	umbral escorrentía	17	
perímetro	13,5	km	Q escorrentía ribera	0	L/s
longitud	6,5	km	K agotamiento (a)	4	dia-1
pendiente	15	%	hidrogramas	3, 6 y 9	horas

Tabla 34**.** Características de la cuenca vertiente del barranco de Las Madres

CUENCA: PTA LA BARANDA			ANÁLISIS HIDROLÓGICO		
cota en cabecera	2.250	m	período de estudio	1950 a 1980	
cota en la presa	950	m	T de concentración	0,75	hora
superficie	10,7	km2	umbral escorrentía	17	
perímetro	16,5	km	Q escorrentía ribera	0	L/s
longitud	7,1	km	K agotamiento (a)	4	dia-1
pendiente	14	%	hidrogramas	3, 6 y 9	horas

Tabla 35**.** Características de la cuenca vertiente del barranco de Pta. la Baranda

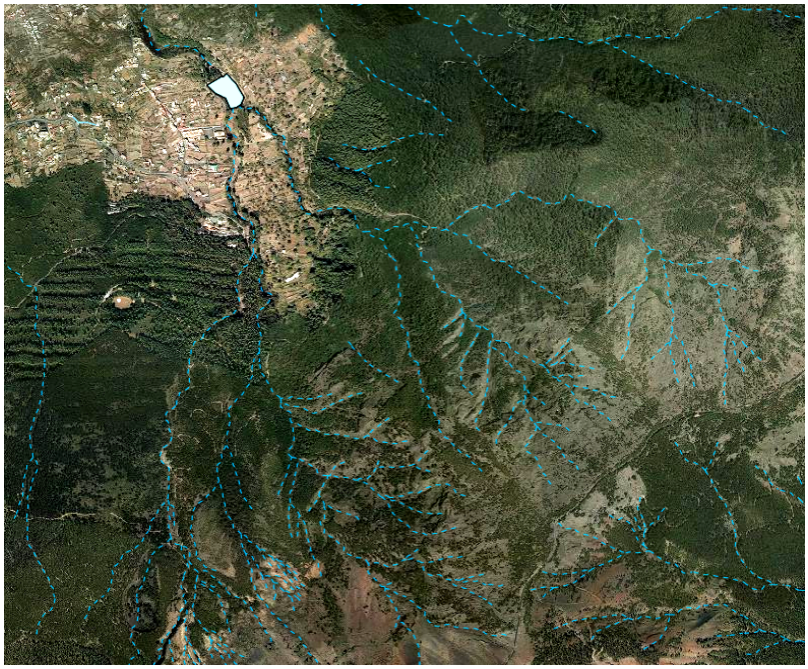


Figura 117. Cuencas vertientes a la presa de Aguamansa (BALTEN)

XVII.4.2. Datos de explotación

La aportación media que se produciría durante el período de estudio adoptado (1950/51-1979/80) –extremadamente húmedo en su primer tercio– deducida del análisis hidrológico conjunto de las dos cuencas habría sido de 131.000 m^3/año; cifra que se extrapoló al proyectado aprovechamiento. Lamentablemente, tales expectativas parece que no se cumplieron. Sólo se dispone de registros de entradas a la presa de las aguas subterráneas; los de las superficiales son muy imprecisos. No obstante, los datos de explotación relativos a los primeros años operativos de la balsa pudieron usarse en la calibración del modelo.

CAPÍTULO XVIII
LAS BALSAS DE TENERIFE

XVIII.1. GENERALIDADES

Todas las balsas de gran capacidad (>50.000 m^3) son de titularidad pública, con una sola excepción: la de La Atalaya en Adeje. La mayoría de ellas surgieron a partir de 1980 con la redacción del *"Estudio de Viabilidad del Plan de Balsas del Norte de Tenerife"* (PBNT).

Nueve de las dieciocho balsas que referenciamos en este capítulo pueden recibir directamente aguas de escorrentía por tener asociado uno o varios tomaderos de barranco. Las otras nueve también pueden ser receptoras –indirectas– del recurso pues están conectadas con algunas de aquellas.

Solamente tres explotan las aguas superficiales al mismo nivel que las aguas subterráneas. A dos de ellas: Montaña de Taco (Buenavista) y Valle Molina (Tegueste) le dedicamos sendos apartados en este capítulo. La tercera: Trevejos (Vilaflor) lo tendrá también en el capítulo XXII que dedicamos a los que hemos denominado «TRES PROYECTOS COMARCALES DE OBRAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL».



Figura 118. Balsas de Llanos de Mesa en San Juan de La Rambla, de Barranco Benijos y de Cruz Santa en La Orotava. (BALTEN)

De las quince restantes resumimos sus características generales y de explotación en sendos cuadros, similares a los que se han ofrecido para las presas. En este caso se aporta, además, el volumen medio anual de agua de escorrentía superficial que ha accedido a cada balsa durante estos últimos años; dato éste que ilustra el bajo rendimiento cuantitativo de este recurso, salvo en las tres balsas reseñadas en el párrafo anterior. El beneficio reside en la mejora de la calidad de las aguas –mayormente subterráneas– que albergan las balsas cuando éstas reciben los aportes del agua meteórica captada en el o los tomaderos de barranco adscritos a ellas.

DATOS GENERALES				
BALSA	**Municipio**	**Año**	**Altura** (m)	**Volumen Embalse** (hm^3)
La Atalaya	Adeje	1928		0,110
El Saltadero	Granadilla	(1)	20,6	0,457
Montaña de Taco	Buenavista	1985	13,7	0,822
Valle Molina	Tegueste	1985	13,0	0,614
La Florida	Icod de los Vinos	1986	14,3	0,162
Barranco de Benijos	La Orotava	1986	16,5	0,206
Llanos de Mesa	San Juan de la Rambla	1986	15,0	0,176
La Tabona	La Guancha	1987	15,5	0,149
Cruz Santa	Los Realejos	1987	16,0	0,665
Buen Paso	Icod de los Vinos	1989	16,3	0,151
San Antonio	La Matanza	1989	11,0	0,157
Valle San Lorenzo	Arona	1991	16,0	0,251
San Isidro	Granadilla	1991	10,5	0,050
El Boquerón	La Laguna	1992	10,5	0,052
Trevejos	Vilaflor	2002	16,0	0,278
Lomo del Balo	Guia de Isora	2002	17,2	0,535
Ravelo	Buenavista del Norte	2005	10,9	0,062
El Palmar	Buenavista del Norte	2007	8,7	0,017

Tabla 36. Datos Generales de las Balsas de Tenerife.
(1): Construida en 1975 y remodelada en 1999.

A los proyectos relativos a las balsas del PBNT con previsión de aprovechar aguas superficiales se adjuntaron los pertinentes **estudios hidrológicos** de las cuencas a explotar.

DATOS DE EXPLOTACIÓN				
BALSA	**Titular**	**Aportes**	**Tomadero**	**Aporte Agua Sup** (hm^3/año)
La Atalaya	Privada	Sb+Sp	Las Torres	0,020
El Saltadero	Pública	Rg+Ds+Sp	Bco. Santos (1)	0.300
Montaña de Taco	Pública	Sb+Sp	Varios	0,150
Valle Molina	Pública	Sp+Sb	Varios	0,485
La Florida	Pública	Sb	NO	-
Barranco de Benijos	Pública	Sb+Sp	Bco. de Benijos	0,005
Llanos de Mesa	Pública	Sb + Sp	Bco. de Ruiz	0,007
La Tabona	Pública	Sb + Sp	El Remate	0,010
Cruz Santa	Pública	Sb + Sp	El Colegio	0,015
Buen Paso	Pública	Sb	(3)	-
San Antonio	Pública	Sb + Sp	Bco. S. Antonio	0,020
Valle San Lorenzo	Pública	Rg+Ds+Sp	Bco. Santos (1)	0.300
San Isidro	Pública	Rg+Ds+Sp	Bco. Santos (1)	0.050
El Boquerón	Pública	Sb	(2)	-
Trevejos	Pública	Sb+Sp	La Vica 1 y 2	0,080
Lomo del Balo	Pública	Sb+Ds	NO	-
Ravelo	Pública	Sp	(4)	-
El Palmar	Pública	Sb+Sp	Las Portelas	

Tabla 37**.** Datos de Explotación de las Balsas de Tenerife.

Sb: Subterráneas; **Sp**: Superficiales; **Rg**: Residuales Regeneradas; **Ds**: Desalada de Mar

(1) A través del conducto Sta. Cruz - Balsa de V. San Lorenzo reciben, además de las aguas residuales de Santa Cruz regenerdas, aguas de escorrentía superficial del barranco de Santos y, esporádicamente, subterráneas de pozos del Valle de Güímar. (2) Está conectada con la balsa de Valle Molina. (3) Está conectada con la balsa de La Tabona. (4) Está conectada con la balsas de Montaña de Taco.

XVIII.2. LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS PARA EL PBNT

XVIII.2.1. Comentarios previos

El Plan de Balsas del Norte de Tenerife (PBNT) fue concebido para regular las aguas excedentarias que, alumbradas en galerías, se arrojaban a los barrancos en los meses invernales. No obstante, también se propugnaba la explotación de determinadas cuencas hidrográficas vecinas a las balsas. Se esperaba que las aguas de escorrentía generadas en su interior, interceptadas en los cauces mediante tomaderos y derivadas hasta las balsas con el conducto apropiado, complementaran las mentadas aportaciones de agua subterránea. La Gerencia del Plan encargó a Adolfo de Hoyos-Limón Gil a Luis O. Puga Miguel y a quien suscribe la redacción de los consiguientes estudios hidrológicos.

En ningún caso se dispuso de datos relativos a caudales circulantes, por lo que el procedimiento de evaluación de las aportaciones de aguas de escorrentía susceptibles de captar y derivar no tuvo más soportes que nuestros conocimientos académicos, secundados con continuadas visitas de campo y encuestas a los vecinos de las cuencas a estudiar. Pues bien, las primeras experiencias no pudieron ser más desalentadoras. Si bien las respuestas en las cuencas a las lluvias recibidas habían respondido a las expectativas de cálculo y el agua de escorrentía generada había vertido sobre los cauces, éstos, en el recorrido hasta la balsa se habían «tragado» todo o gran parte de los caudales circulantes. Nos topamos de lleno con el fenómeno que venimos denominando *infiltración en cauces.*

En las islas, al análisis no debía limitarse a la cuenca vertiente; además, el cauce debía ser inspeccionado, palmo a palmo, siguiendo el flujo de las escorrentías, localizando así los posibles sumideros para, consecuentemente, fijar el emplazamiento óptimo de la obra de captación por encima, al menos, de los más absorbentes.

XVIII.2.2. Planteamiento

Los estudios hidrológicos de aprovechamiento de aguas de escorrentía superficial se basan en el análisis estadístico de una serie histórica de sucesos hidrológicos acontecidos sobre la cuenca hidrográfica a explotar; del análisis de esos hechos se extraen unas determinadas conclusiones que se pretenden extrapolar al comportamiento hidrológico futuro de dicha cuenca sobre la que se tienen unas expectativas de aprovechamiento respecto de sus escorrentías.

En principio se establece un período de estudio suficientemente amplio para que los resultados sean representativos. Una vez seleccionada las series pluviométricas de trabajo, se extraen todos los aguaceros diarios que hubieran derivado una pluviometría media sobre la cuenca capaz de generar aguas de escorrentía durante el período considerado.

Dado que sólo van a ser objeto de aprovechamiento las aguas captadas y transportadas hasta la balsa por un conducto de una determinada capacidad de derivación, es imprescindible conocer en qué forma llegan las aportaciones de escorrentía al tomadero construyendo los diversos hidrogramas de avenida que se habrían presentado a lo largo del período contemplado en el estudio; distinguiendo en cada uno de ellos la aportación de escorrentía directa del aguacero de la escorrentía indirecta. Esta última, en forma de curva de agotamiento, se le superpone al hidrograma de escorrentía directa para conformar el hidrograma de escorrentía «total».

XVIII.2.3. Información de base y operaciones previas

En cada Estudio se acometían los siguientes apartados:

- Descripción y características de la cuenca vertiente al emplazamiento de la obra de captación (tomadero):
  - tipo y localización.
  - físicas (superficie, longitud del cauce principal, pendiente,…).
  - morfológicas (tramos de cauce natural, de encauzamientos, …).
  - de cobertera (urbana, vegetal, cultivos…).
  - hidrogeológicas (permeabilidades, acuíferos colgados…).
- Régimen de precipitaciones:
  - **Estaciones** de registro pluviométricos existentes en el entorno.
  - **Series** de registros disponibles.
  - Elección del **período de estudio**.
  - Selección de aquellos **aguaceros diarios** que superaran en alguna o algunas estaciones pluviométricas una precipitación superior a un determinado umbral (según la cuenca a estudiar).
  - Dibujo de las **isoyetas** de los aguaceros diarios seleccionados que además contaran con cobertura suficiente (varias estaciones con dato registrado) para su representación.
  - Evaluación de la **Precipitación Media** (PM) sobre la cuenca de cada aguacero, superficiando entre isoyetas.
  - Obtención de la PM del resto de aguaceros diarios mediante **correlación** con la PM de los aguaceros representados.
  - Definición de las funciones de **distribución porcentual de intensidades** de lluvia a partir del análisis de las bandas de registro en continuo del pluviógrafo localizado dentro o cerca de la cuenca.
  - Reparto de la lluvia diaria en aguaceros de 1.5, 3, 6, 9, 12 y 18 horas de duración construyendo sus respectivos **hietogramas** en base a las funciones precedentes.

- Análisis de las escorrentías:
  - definición del valor del **umbral de escorrentía** (Po) en función de:
    - las características del suelo de la cuenca.
    - las condiciones de humedad existentes previas al aguacero[3].
  - evaluación de la aportación de escorrentía **directa** generada por cada aguacero (A) → método del «número de curva»

$$A = (PM - Po)^2 / (PM + 4 \cdot Po)$$

  - definición de los caudales «base» o «ecológicos» (en algunos casos).

XVIII.2.4. Construcción de hidrogramas

Con el Proyecto Canarias SPA-15 se instalaron estaciones de aforo en algunos barrancos. Ninguno de los seleccionados por el PBNT contó con este medio de control de avenidas por lo que hubo que acudir a los hidrogramas sintéticos:

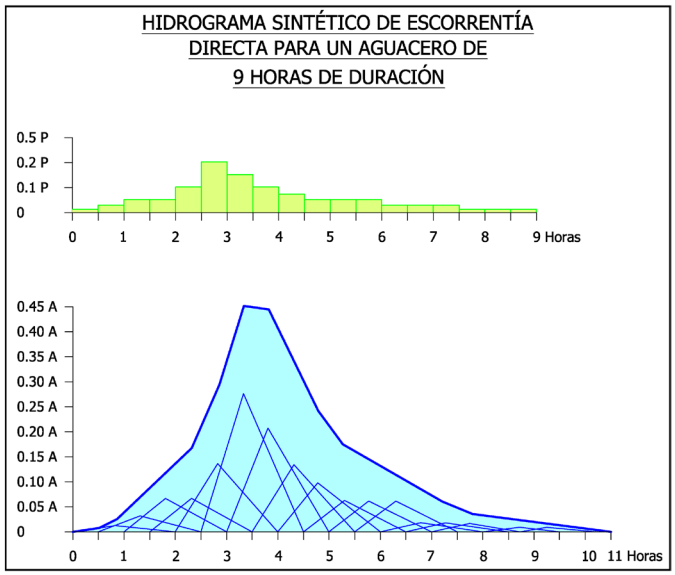


Figura 119. Hidrograma sintético a partir del hietograma de un aguacero de T=9 horas.

- A partir del hidrograma unitario propuesto por el U.S. Soil Conservation Service se confeccionaron hidrogamas sintéticos de escorrentía directa, bajo la consideración de:
  - la aportación de escorrentía del aguacero (A).
  - el caudal punta del aguacero (Qp).
  - la duración del aguacero (Td).

[3] Con los aguaceros diarios se establecían entre tres y cinco niveles de humedad.

- la intensidad de la lluvia (I)
- la superficie (s) y distribución de la cuenca vertiente al tomadero
- el tiempo de concentración (Tc)

- Para definir la escorrentía **indirecta** se acoplaba al hidrograma de escorrentía directa una «curva de agotamiento» del tipo $S = So \cdot e^{-at}$ cuya geometría define la forma en que es devuelta a los cauces el agua de lluvia que ha quedado retenida en el suelo más superficial.[4]
- La escorrentía de «ribera» procedente de acuíferos colgados, si la hubiere, se representaba mediante un hidrograma continuo sobre el que se montaban los hidrogramas de los aguaceros.

XVIII.2.5. Cálculo de las aportaciones circulantes

Con los caudales ($Q = V/t$) en ordenadas y el tiempo (t) en abscisas, el volumen de agua de escorrentía que alcanza el tomadero es equivalente a $Q \cdot t = V/t \cdot t = V$. La suma de los volúmenes relativos a los hidrogramas de los aguaceros ocurridos en un día, un mes o un año determinado es la aportación total de escorrentía que habría circulado por el emplazamiento del tomadero ese día, ese mes o ese año.

XVIII.2.6. Cálculo de las aportaciones derivadas

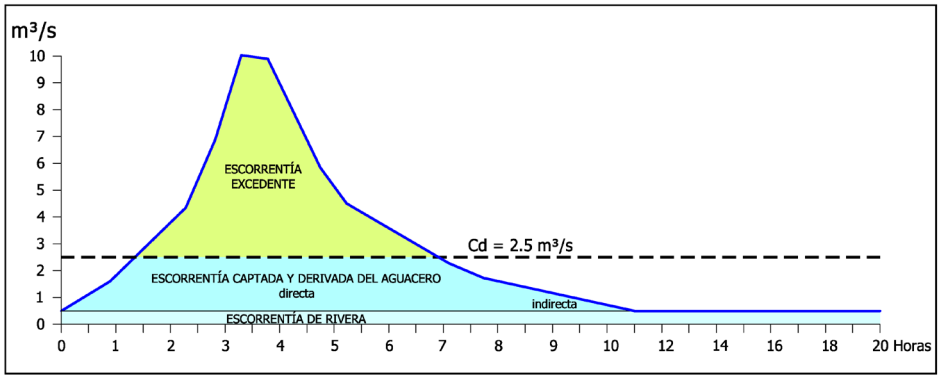


Figura 120. Hidrograma total de avenida de un aguacero y escorrentías derivadas (directa, indirecta y de ribera) por un conducto de 2,5 m^3/s de capacidad.

Seccionando cada uno de los hidrogramas seleccionados con la capacidad de derivación (Cd), el polígono inferior representa el agua de escorrentía generada por un aguacero determinado que un conducto de capacidad Cd derivaría desde el tomadero hasta la balsa. El polígono superior se corresponde con la escorrentía no captada que discurrirá barranco abajo

[4] El caudal inicial de fluencia (So) se deducía en función, entre otros, del caudal punta (Qp). El valor de «a» a partir del tiempo de agotamiento de las avenidas controladas en campo.

XVIII.2.7. Definición de la capacidad del conducto de derivación

Siendo ésta una de las incógnitas a resolver en el estudio hidrológico, la operación descrita en el apartado precedente se realizaba con varias opciones de capacidad que permitieran la selección de la más óptima.

Por otro lado, a pesar de que en ningún caso se planteó dimensionar la obra de almacenamiento en función de las posibles aportaciones de escorrentía superficial, el análisis de optimización del aprovechamiento se completaba con varias alternativas de capacidad de embalse –entre las que naturalmente figuraba la de proyecto– que a su vez daban lugar a otras tantas familias de curvas que aportaban nuevos criterios para elegir la capacidad del conducto.

XVIII.2.8. Estudios de regulación en balsas

Con el objetivo de proporcionar datos utilizables en la determinación de los beneficios atribuibles al sistema hidráulico bajo consideración, en algunos casos se realizaron estudios de regulación, consistentes en la cuantificación, para cada serie de aportaciones, de las capacidades de embalse necesarias para asegurar, con niveles de garantía determinados, el riego de diferentes superficies de cultivo.

Dada la complejidad del procedimiento de cálculo hubo que crear un programa operativo específico al respecto que se procesaba en el equipo informático del Servicio Hidráulico de Santa Cruz de Tenerife.

XVIII.2.9. Comentarios finales

Es de advertir que no todos los aprovechamientos de aguas superficiales del PBT partieron de un estudio hidrológico previo; ni tampoco todos los estudios hidrológicos realizados se materializaron en aprovechamientos pues del algún estudio se desprendía, precisamente, la inviabilidad del proyecto.

Nueve balsas del norte de la isla reciben directamente aguas de escorrentía:

- Montaña de Taco y El Palmar (Isla Baja o Daute)
- La Tabona y Llanos de Mesa (Valle de Icod),
- Cruz Santa, Benijos y Aguamansa (Valle de La Orotava),
- San Antonio (Acentejo)
- Valle Molina (Valle Guerra)

A todas les dedicamos un apartado específico con una pequeña descripción del aprovechamiento y las previsiones que se deducían de los estudios hidrológicos. Además y al objeto de contrastar tales previsiones con datos reales, también se ofrecen los datos de explotación relativos a las aguas superficiales durante los últimos diez años. De entre las nueve, sólo en Montaña de Taco y en Valle Molina las aportaciones de escorrentía superficial son equiparables a las del agua subterránea.

XVIII.3. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «MONTAÑA DE TACO»

XVIII.3.1. La balsa de Montaña de Taco

La Balsa de Montaña de Taco, la de mayor capacidad y la primera de las obras acometidas dentro del plan de balsas del Norte de Tenerife… ascendiendo su presupuesto a la cantidad de 410 Millones Ptas.-, representa el verdadero "acorazado" de dicho plan; su emplazamiento en el cráter de un cono volcánico, con un exquisito respeto medioambiental, que requirió de un mínimo movimiento de tierras y que aprovechó las arcillas que la erosión eólica había depositado en su interior para la impermeabilización de su fondo,…, la sitúan entre las obras de este tipo más emblemáticas del país. Constituye una pieza clave del suministro de agua para regadío en la Isla Baja; la regulación que necesitaba esta comarca estaba resuelta, como así se ha puesto de manifiesto año tras año (Fuente: BALTEN).

Término municipal: Buenavista-Los Silos **Año de ejecución**: 1985
Tipología: Materiales sueltos + geomembrana y arcilla compactada en fondo.
Volumen a máximo nivel de embalse (m³): 821.739
Cota máximo nivel de embalse (m): 270,70 **Altura de agua (m)**: 13,70



Figura 121. Las balsas de Montaña de Taco y de Ravelo (a la izquierda de la imagen)

Se integran en el Complejo Hidráulico Isla Baja que cuenta, además, con la Red de Riego y una Estación Desalinizadora. (Fuente: BALTEN)

XVIII.3.2. Primer proyecto de aprovechamiento

El aprovechamiento de aguas de escorrentía en la balsa de Montaña de Taco contemplaba como único aporte el captado en el cauce del barranco de **Los Camellos** en el término de Buenavista del Norte. Un análisis preliminar de la cuenca vertiente deparó unas expectativas que no se correspondieron con la realidad. Una vez iniciada la explotación de la balsa se comprobó que la citada cuenca

era ciertamente proclive a la generación de aguas de escorrentía; por los cauces de los barrancos de cabecera era habitual ver circular corrientes de agua, mantenidas incluso durante semanas; sin embargo, una vez que alcanzaban el cauce principal, la riada conjunta disminuía paulatinamente de caudal hasta desaparecer, siendo contadas las ocasiones en las que llegaban escorrentías al emplazamiento del tomadero.

XVIII.3.3. Esquema del aprovechamiento final

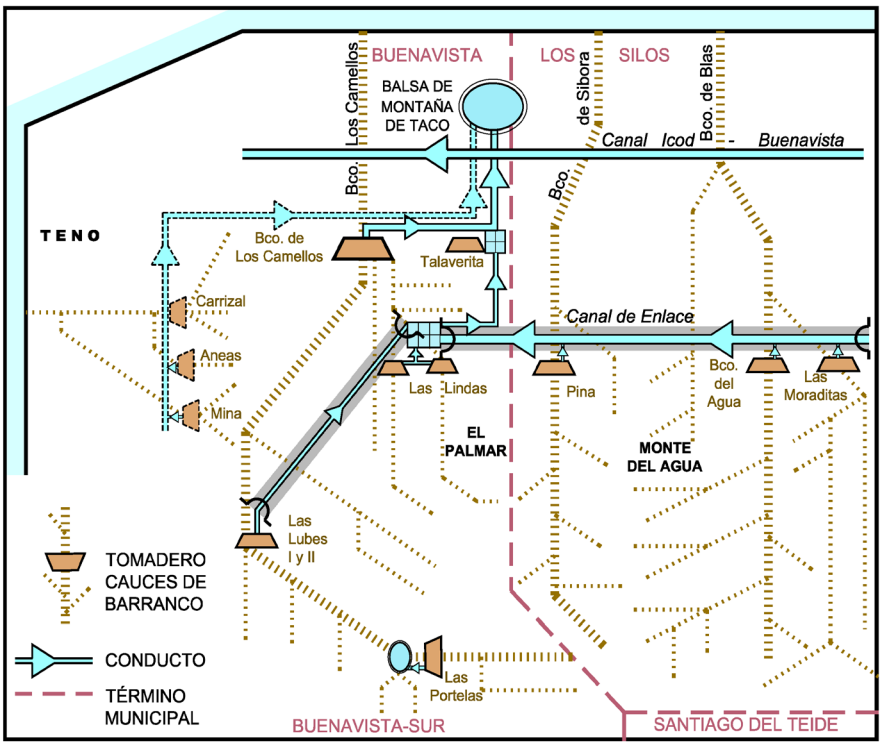


Figura 122. Esquema del aprovechamiento de recusos superficiales en la balsa de Montaña de Taco.
(A trazos, el proyectado pero no ejecutado aprovechamiento TEN-ADE norte).

Como primera medida se optó por buscar el recurso en otras cuencas vecinas.

En concreto, se propuso la ejecución de tres tomaderos en el Monte del Agua:

1. **La Moraditas** en el bco. de Cuevas Negras afluente al bco. de Blas.
2. **Barranco del Agua** en el bco del mismo nombre, afluente al bco. de Blas.
3. **Pina** o **El Caudal** en el bco. de Los Andenes afluente al bco. de Sibora.

Los tres tendrían como medio de derivación de las aguas el canal de Enlace.

Años después, se promovió la explotación de las cuencas de cabecera del barranco de Los Camellos, en El Palmar, para interceptar las constatadas corrientes de aguas de escorrentía mediante cuatro tomaderos:

4. **Las Lindas I** en el bco. de Las Lindas.
5. **Las Lindas II** en el de Fuente Bermeja (afluente del bco. de Las Lindas).
6. **Las Lubes I** en el de Hoya de La Fuente (afluente del bco. de Las Lubes).
7. **Las Lubes II** en el barranco de Las Lubes.

En el mismo proyecto se incluyó también un quinto tomadero:

8. **Talaverita** en una barranquera sin nombre.

Finalmente, el sistema hidráulico se complementó con la balsa de El Palmar, ejecutada por el CIATF. Ésta, además de contar con aportes de agua subterránea del canal de Vergara, se nutre de las escorrentías captadas en sendos tomaderos:

9. **Las Portelas I** y **II** en el bco. de La Vica (afluente al bco. de Las Lubes)

Además, en el Proyecto TEN-ADE –será comentado en posterior capítulo– se incluyó un estudio de viabilidaddel aprovechamiento de las escorrentías de tres cuencas de Teno (en adelante *Estudio de Teno*):

a. **El Carrizal** en el barranco del mismo nombre en Teno sur (Buenavista).
b. **Las Aneas** en el barranco de Las Aneas en Teno sur (Buenavista).
c. **Mina** en el barranco de igual nombre en Teno sur (Buenavista).

XVIII.3.4. Cuencas hidrográficas aportadoras de escorrentías

XVIII.3.4.1. Del Barranco de Los Camellos

CUENCA VERTIENTE			ANÁLISIS HIDROLÓGICO		
cota en cabecera	1325	m	período de estudio	1959	1980
cota en el tomadero	368	m	T de concentración	1,0	hora
superficie	9,9	km2	umbral escorrentía	17	
perímetro	11,0	km	Q escorrentía ribera	0	L/s
longitud	6,5	km	K agotamiento (a)	1	dia-1
pendiente	14,0	%	hidrogramas	6, 9, 12	horas

Tabla 38**.** Características físicas e hidrológicas de la cuenca del bco. Los Camellos

La cuenca hidrográfica vertiente al cauce del barranco de Los Camellos fue la destinada, en principio, a abastecer la balsa con aguas de escorrentía superficial. Del estudio hidrológico previo se dedujo que la capacidad óptima del conducto de derivación debía ser **500** L/s, con el cual se estimaba derivar hasta la balsa un aporte anual medio de unos **135.000** m^3, con una garantía del 50%. Tales expectativas, por las razones ya expuestas y que volveremos a comentar, no se cumplieron en los años inmediatos a la puesta en explotación de la balsa, por lo que se buscaron las alternativas de suministro que se describen a continuación.

XVIII.3.4.2. Del Monte del Agua

Del modelo matemático construido para el mencionado *Estudio de Teno* se confirmó que la capacidad del canal de Enlace (400 L/s), al cual verterían las aguas captadas en los tres tomaderos: Las Moraditas, Barranco del Agua y Pina, estaba dentro del óptimo aprovechamiento. El canal posibilitaba derivar un volumen conjunto anual medio de agua de escorrentía de **145.900** m^3.



Figura 123. Cuencas hidrográficas de Monte del Agua (Los Silos), Talavera y El Palmar (Buenavista)

XVIII.3.4.3. De El Palmar

El fracaso con el tomadero ejecutado en el barranco de Los Camellos y la constatación de condiciones mucho más favorables aguas arriba aconsejó el desplazamiento de la captación a cotas más altas y además, repartida en varias tomas: Las Lubes I y II y Las Lindas I y II y un quinto tomadero (Talaverita), complementarian la explotación, tal y como queda reflejado en el esquema de la figura 122.



Figura 124. Tomadero de Las Lindas

En el *Estudio de Teno* se dedujeron las capacidades óptimas de los conductos: como los volúmenes anuales medios que se derivarían desde cada enclave[5]:

- desde Las Lubes con un conducto de capacidad de 225 L/s → 109.300 m^3
- desde Las Lindas con un conducto de capacidad de 125 L/s → 39.500 m^3
- desde Talavera con un conducto de capacidad de 25 L/s → 8.800 m^3

A la balsa le llegarían 157.600 m^3 de agua de escorrentía al año procedente de las cinco cuencas de El Palmar.

Finalmente, la construcción de la balsa de El Palmar permitió a BALTEN extender el ámbito de riego en la comarca a parcelas de cultivo más altas de cota.



Figura 125. La balsa de El Palmar y los tomaderos de Las Portelas. (BALTEN)

XVIII.3.4.4. De Teno

En las cuencas de Teno, el mismo proceso de cálculo llevó a las siguientes cifras:

- desde El Carrizal con un conducto de capacidad de 125 L/s → 58.100 m^3
- desde La Mina con un conducto de capacidad de 25 L/s → 9.000 m^3
- desde Las Aneas con un conducto de capacidad de 100 L/s → 55.100 m^3

Los tres conductos de aducción confluirían en la bocamina del túnel de Los Carrizales desde la que partiría el conducto colector que, con 250 L/s de capacidad, trasvasaría hacia la balsa una media de **123.200** m^3/año. Ahora bien, este posible trasvase debía contemplarse dentro del sistema de aprovechamiento existente; y en ese contexto, había que comprobar si el rendimiento marginal resultante compensaba el coste de las obras de captación y transporte.

XVIII.3.5. Aprovechamiento conjunto.

En el sistema de explotación de las escorrentías en la balsa de Montaña de Taco los aportes de las cuencas de Monte del Agua y las de El Palmar confluyen casi simultáneamente en las tanquillas de Las Lindas o del Palmar; los primeros condu-

[5] Las cuencas Las Lubes I y II se estudiaron en conjunto al igual que Las Lindas I y II

cidos por el canal de Enlace y los segundos por sus respectivos conductos. En el *Estudio de Teno* se hizo el análisis del aprovechamiento tomando en consideración el conjunto de todos los suministros, incluidos los subterráneos.

La modelización matemática del sistema de explotación permitió deducir que el aprovechamiento medio de las aguas superficiales derivadas desde las cuencas del Monte del Agua y de El Palmar sería de unos 240.800 m^3 de media anual. Complementando la explotación con las cuencas de Teno, el aprovechamiento se habría incrementado en unos 51.500 m^3. Esta obra no se realizó.



Figura 126. Tanquillas de Las Lindas y sifón entre el conducto colector y la balsa.

XVIII.3.6. Datos de explotación.

Los 240.800 m^3/año de agua de escorrentía que supuestamente accederían a la balsa se dedujeron bajo la consideración de condiciones óptimas de aprovechamiento. Ahora bien, la realidad de cualquier explotación de este tipo está sujeta a incidencias relacionadas con el estado de los tomaderos y de los conductos de aducción, o con el propio sistema de explotación o incluso con la propia meteorología[6], con lo que el rendimiento se reduce sensiblemente. Con todo ello, durante la última década hasta la balsa de Montaña de Taco se ha derivado una media de unos **150.000** m^3/año de agua de escorrentía.

[6] Las aguas de escorrentía que llegan a las tanquillas de Las Lindas por el canal de Enlace coinciden en el tiempo con las que acceden por los otros conductos. Cuando unos y otros vienen a sección llena, las escorrentías compiten por entrar en el conducto colector que les transfiere a la balsa; parte de esos caudales se pierden en las inmediaciones de las tanquillas.

APORTACIONES DE ESCORRENTIA A LA BALSA DE MTÑA. DE TACO											
año	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**MEDIA**
m^3/1000	35	300	130	110	60	410	50	180	145	85	**150**

Tabla 39**.** Aportaciones de agua de escorrentía a la balsa de Montaña de Taco.

XVIII.4. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «VALLE MOLINA»

XVIII.4.1. La balsa de Valle Molina

El Estudio de Viabilidad que sustentaba al Plan de Balsas del Norte de Tenerife, recogía que en la Comarca Nordeste no se producían excedentes que almacenar. No obstante – y con acierto constatado– se planteaba este embalse para la incorporación –además de aquellos pozos– de nuevos recursos de agua de calidad, principalmente superficiales procedentes de las cuencas de los barrancos de los Rodeos, Las Cuevas, La Centinela, Las Zocas y el Infierno que confluyen en las inmediaciones del embalse. El posterior trasvase de las aguas de escorrentía de Barranco de Santos apuntala aún más a este sistema, pero lo que ha resultado definitivo es la posibilidad de captar aguas del Canal del Norte (Fuente: BALTEN).

Término municipal: Tegueste **Año de ejecución**: 1987
Tipología: Materiales sueltos impermeabilizada con geomembrana
Volumen a máximo nivel de embalse (m^3): 614.373
Cota máximo nivel de embalse (m): 342,75 **Altura de agua** (m): 13,00



Figura 127. Balsa de Valle Molina y balsa de El Boquerón a la derecha de la imagen. Ambas junto con la de Presas de Ocampo, están conectadas entre sí (Fuente: BALTEN)

XVIII.4.2. Esquema del aprovechamiento

Al igual que en Montaña de Taco, originalmente, las aguas de escorrentía con destino a la balsa de Valle Molina procederían de una sola cuenca: la vertiente al tomadero que se proyectaba en el cauce del barranco de Las Cuevas. El contraste entre las previsiones del consiguiente estudio hidrológico con los caudales de agua que llegaron al tomadero en los meses posteriores a su puesta en servicio, volvió a poner de manifiesto las peculiares características hidrogeológicas de la generalidad de las cuencas hidrográficas del norte de la isla:

- la generación de corrientes de escorrentía en los cauces superiores
- la desaparición de tales corrientes en su recorrido hasta el mar

El tantas veces nombrado *fenómeno de infiltración en cauces* obligaba de nuevo a replantear la localización de las tomas en otro o en otros lugares.

XVIII.4.2.1. Captaciones locales

Se optó por buscar la captación del recurso en dos barrancos vecinos: El Infierno y La Zoca que, siendo afluentes del barranco de Las Cuevas, descargan sobre el cauce aguas abajo del emplazamiento del tomadero. Las aguas de escorrentía superficial con destino a la balsa procederían pues de:

- Las cuencas hidrográficas del barranco de **Las Cuevas** y de sus afluentes **Los Rodeos** y **La Centinela**. Las tres confluyen en el tomadero colector.
- Las cuencas de los barrancos de **El Infierno** y **La Zoca**. Las aguas captadas en sus respectivos tomaderos se trasvasarían hasta el colector.



Figura 128. Tomadero de Valle Molina. Colector de las aguas de escorrentía que alimentan la balsa: Los Rodeos, La Centinela, El Infierno, La Zoca, Santos y Tabares (Fuente: BALTEN)

Aunque la incorporación de estas dos cuencas al esquema de explotación mejoró sensiblemente el aprovechamiento, en determinados años se generaba una situación de déficit en el suministro de agua para riego desde la balsa. A diferencia de las restantes, en ésta el acopio de agua priorizaba la superficial frente a la subterránea, pues tal como se recogía en el Estudio de Viabilidad del PBNT *en la comarca nordeste no se producían excedentes que almacenar*. Había pues que proveer a la balsa de nuevos aportes de agua superficial con mayor garantía de disponibilidad.

XVIII.4.2.2. Captaciones externas

En el extremo oriental de la comarca de Valle Guerra discurre el barranco de Las Tapias, de Las Lajas o de Agua de Dios en cuyo cauce se instaló, durante el Proyecto SPA-15, una estación de aforo que estuvo activa al menos quince años. La información aportada, aunque irregular e incompleta, invitaba a incorporar la cuenca al sistema de Valle Molina. Sucedía que en el cauce de dicho barranco ya existían varios aprovechamientos en efectiva explotación a los que había que respetar.

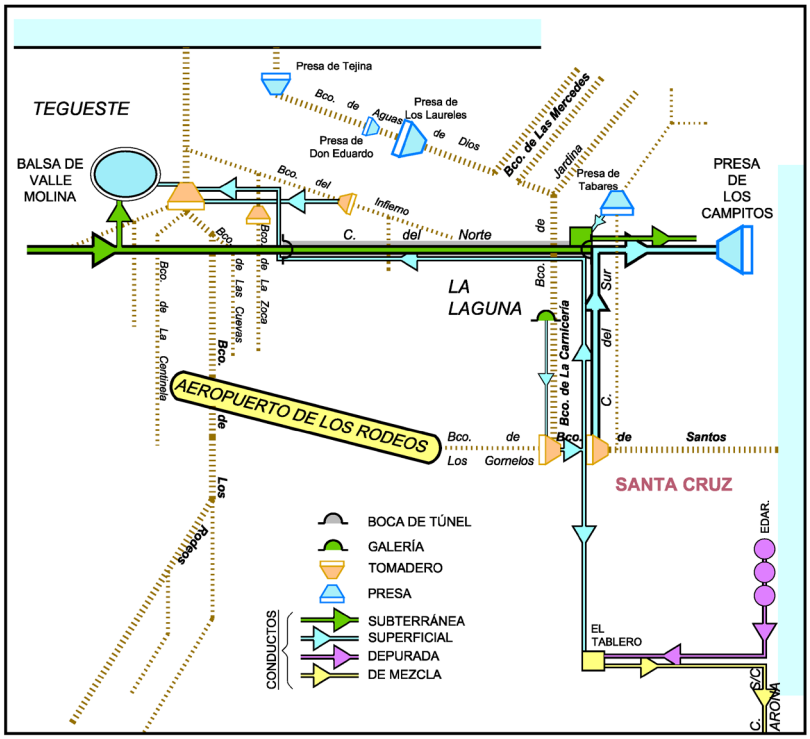


Figura 129. Esquema del aprovechamiento de agua de escorrentía en la balsa de Valle Molina. También se representa el aprovechamiento sur de las escorrentías del barranco Santos, así como el proyectado y ejecutado pero no en uso, en la presa de Los Campitos (tomadero inferior).

Ahora bien, en la vertiente opuesta, solapándose con la cabecera de cuenca del barranco Las Tapias, tiene la suya la del barranco de Las Mercedes, afluente del barranco de Jardina que a su vez tiene su continuación en el barranco de La Carnicería y éste en el de Santos (Figura 129). Las características hidrológicas de una y otra cuenca son en algunos aspectos muy similares. El esquema de llenado de la balsa se complementó pues con un nuevo aporte: las escorrentías de la cuenca vertiente al barranco de **Santos**, las cuales se repartirían entre la balsa de Valle Molina y el conducto Santa Cruz-Arona que transporta las aguas regeneradas de Santa Cruz hasta el complejo hidráulico de Valle de San Lorenzo en Arona.

Aún existía una tercera oportunidad de derivar hasta la balsa nuevos aportes de agua superficial. La presa de Tabares o Reverés en el barranco de **Tabares** venía recibiendo, prácticamente todos los años, aportaciones de escorrentía superficial que, en gran parte, estaban infrautilizadas.

XVIII.4.3. Cuencas hidrográficas aportadoras de escorrentía

XVIII.4.3.1. Del barranco de Las Cuevas

La cuenca vertiente al tomadero tiene las siguientes características:

CUENCA VERTIENTE			ANÁLISIS HIDROLÓGICO		
cota en cabecera	900	m	período de estudio	1950	1981
cota en el tomadero	355	m	T de concentración	1,5	hora
superficie	10,7	km2	umbral escorrentía	17	
perímetro	18,0	km	Q escorrentía ribera	0	L/s
longitud	8,1	km	K agotamiento (a)	2	dia-1
pendiente	8,6	%	hidrogramas	1.5, 3, 6 y 9	horas

Tabla 40**.** Características de la cuenca vertiente al tomadero de Valle Molina

Del estudio hidrológico– se presumía que con una capacidad de aducción de **9** m^3/s y con toda la capacidad de la balsa disponible (614.373 m^3), la aportación media anual sería de unos 400.000 m^3 de aguas de escorrentía superficial con una garantía de servicio del 70%. Con el 99% se reducía el suministro a poco más de 100.000 m^3/año.

Tales expectativas no se confirmaron pues las buenas condiciones de la cuenca vertiente para generar aguas de escorrentía chocaron con las inapropiadas del barranco para conducirlas. Sucesivos tramos de cauce con un alto valor del *umbral de infiltración* diezman la riada hasta hacerla desaparecer si ésta no supera unos determinados caudales.

XVIII.4.3.2. De los barrancos de El Infierno y La Zoca

Del análisis hidrológico previo se dedujo que desde sus respectivos tomaderos, con conductos de 0,65 y 0,30 m^3/s de capacidad se derivarían hasta la balsa unos

75.000 m³/año de agua de escorrentía desde el barranco de El Infierno y **25.000** m³/año desde el de La Zoca.

XVIII.4.3.3. Del barranco de Santos

En su día, hubo un primer intento, a modo de prueba, de aprovechamiento de las escorrentías del barranco de Santos en la presa de Los Campitos; la experiencia aportó fundamentos muy positivos que invitaban a buscar otra alternativa de aprovechamiento. En 1989 se hizo un nuevo análisis de las escorrentías circulantes por el barranco de Santos con el fin de considerar la posibilidad de derivar hasta 250.000 m³/año hacia la balsa de Valle Molina. En principio, el sistema de explotación partía del tomadero ya construido para la mencionada prueba, pero determinadas circunstancias (vertidos incontrolados, problemas de accesibilidad…) decidieron la construcción de un nuevo tomadero cuyo emplazamiento, en el entronque del barranco de Los Gomeros con el de Santos, es más accesible.

XVIII.4.3.4. De la presa de Tabares o de Reverés

El aprovechamiento que ahora nos ocupa parte de una explotación preexistente –lleva más de 100 años en activo– en el barranco de Tabares, afluente al de Santos. Un muro de presa intercepta su cauce y tras él se almacenan las aguas de escorrentía generadas en su cuenca vertiente. El embalse es de titularidad privada por lo que BALTEN adquiere el agua a discreción; generalmente a partir de primavera cuando, cesadas las lluvias, no llegan a la balsa de Valle Molina escorrentías que le compitan el acceso, y cuando además la balsa se encuentra ya en fase de vaciado.

La presa cubica 120.000 m³ siendo frecuentes los años en los que el volumen de las aportaciones del barranco alcanza las tres cuartas partes de su capacidad.

XVIII.4.4. Datos de explotación.

La balsa recibe un promedio de **500.000** m³/año de agua superficial..

APORTACIONES DE ESCORRENTIA A LA BALSA DE VALLE MOLINA											
DESDE LOS BARRANCOS DE : **LOS RODEOS, LAS CUEVAS, LA CENTINELA, EL INFIERNO, LA ZOCA** Y **SANTOS**											
año	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**MEDIA**
m³/1000	630	384	765	429	129	785	102	388	132	365	**412**
DESDE **LA PRESA DE TABARES**											
m³/1000	95	82	66	0	87	123	88	100	58	32	**73**
TOTAL											
m³/1000	**725**	**466**	**831**	**429**	**213**	**908**	**190**	**488**	**190**	**397**	**485**

Tabla 41. Aportaciones de agua de escorrentía superficial a la balsa de Valle Molina

XVIII.5. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «BCO. BENIJOS»

Este emplazamiento, junto a los de Montaña de Taco y Valle Molina, fueron planteados por el consultor GEOTEHIC dentro «Plan Hidráulico Insular» elaborado para el Cabildo Insular de Tenerife en el año 1967, y tales fueron incluidos en el "Plan de Balsas del Norte de Tenerife", pero convenientemente revisados en sus desproporcionados diseños.

Fue construida entre abril de 1985 y noviembre de 1986, con un presupuesto de liquidación de 178 MPt (1.07 M€) financiados por el Cabildo Insular. Resulta ser el segundo escalón –intermedio entre Aguamansa y La Cruz Santa con las que se comunica– y se plantea como regulador de las medianías bajas de los municipios de Los Realejos y La Orotava (Fuente: BALTEN).

Término municipal: La Orotava **Año de ejecución**: 1986
Tipología: Materiales sueltos impermeabilizada con geomembrana
Volumen a máximo nivel de embalse (m³): 206.373
Cota máximo nivel de embalse (m): 548 **Altura de agua (m)**: 16,50



Figura 130. Balsa de Barranco de Benijos (Fuente: BALTEN)

XVIII.5.1. La cuenca aportadora de escorrentias

El análisis hidrogeológico adjunto al estudio hidrológico concluía que: *la superficie de las cuencas hidrográficas objeto de este estudio, lo forman materiales de las series modernas, con especial abundancia de la Serie III: Los tales son*

muy permeables…En consecuencia puede significarse que los terrenos de las cuencas consideradas son muy favorables a la infiltración;… y que por tanto, las aportaciones de los barrancos se producirán sólo después de intensos aguaceros….

Finalmente y por aquello de que *"ya que El Pisuerga pasa…", se dispuso de un canal de toma –dotado de rejillas filtrantes horizontales y compuerta lateral* (BALTEN)– en el barranco de Benijos. Se desecharon otros dos posibles aprovechamientos.

XVIII.5.2. Datos de explotación.

En 16 de los 32 años de servicio, la balsa no ha recibido aportes del barranco. La aportación media a la balsa ha sido de **4.900** m^3/año.

El 16 de noviembre de 2009 un intenso episodio de lluvia, centrado en la medianía del Valle de la Orotava, generó en todo el territorio importantes escorrentías. La aportación de un pequeño afluente al canal de derivación del barranco de Benijos –construido con el embalse– creó un escollo a modo de dique que produjo la derivación hacia el interior de la balsa un volumen estimado de setenta mil metros cúbicos de unas aportaciones de escorrentía sólida que invadieron las instalaciones, causando daños en la pantalla de impermeabilización.



Figura 131. Avalancha de escombros acaecida el 16/11/2009 sobre la balsa de Bco. Benijos

Después de este episodio el CIATF ejecutó un canal de derivación de las escorrentías de la vaguada –que produjeron el atascamiento del canal principal– directamente al cauce del barranco de El Cerrudo.

XVIII.6. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «LLANOS DE MESA»

Situada en la cabecera de una zona –La Vera– de amplia tradición en el cultivo de la papa. Se alimenta fundamentalmente de aguas procedentes de galerías, excedentes de aquella agricultura y, a modo de sumidero, de un caudal continuo de la misma procedencia contratado por BALTEN para la alimentación de los tres depósitos de las medianías de Icod el Alto, San Juan de la Rambla y La Guancha –lo que no se consume termina en la balsa– (Fuente: BALTEN).

Término municipal: San Juan de la Rambla **Año de ejecución**: 1987
Tipología: Materiales sueltos impermeabilizada con geomembrana
Volumen a máximo nivel de embalse (m³): 175.961
Cota máximo nivel de embalse (m): 680 **Altura de agua (m)**: 15,00



Figura 132. Balsa de Llanos de Mesa (Fuente: BALTEN)

XVIII.6.1. Datos de explotación.

Tres meses antes de redactar el estudio hidrológico para la presa de Aguamansa se elaboró el correspondiente al aprovechamiento que nos ocupa. Uno y otro asumieron, desafortunadamente, los mismos antecedentes de partida: un período de estudio (1950/51-1980/81) muy húmedo, unas encuestas de campo viciadas y una equivocada interpretación del comportamiento hidrológico de la cuenca aportadora; circunstancias éstas que dieron lugar a unas predicciones que no se correspondieron con la realidad. En este caso, un conducto de aducción de 2,5 m³/s de capacidad derivaría agua del barranco de Ruiz hasta la balsa, con una garantía del 70%, 50.000 m³/año de agua de escorrentía superficial; sin embargo, la aportación media de este recurso desde su puesta en servicio ha sido de unos 7.500 m³/año.

Las aguas **subterráneas** han sido el soporte de la explotación de esta balsa, contribuyendo a su llenado con un suministro de unos 135.000 m³/año.

XVIII.7. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «SAN ANTONIO»

Entre dos conos volcánicos resulta ser uno de los embalses más versátiles del Plan que fue planteado como regulador de la Comarca de Acentejo. Además de regar por gravedad las medianías de la Victoria y la Matanza, dispone de dos elevaciones que permiten, hacia el oeste, llegar hasta Pino Alto (Santa Úrsula) y hasta Fray Diego en Tacoronte, en dirección este (BALTEN).

Término municipal: La Matanza **Año de ejecución**: 1991
Tipología: Materiales sueltos impermeabilizada con geomembrana
Volumen a máximo nivel de embalse (m^3): 157.008
Cota máximo nivel de embalse (m): 618 **Altura de agua (m)**: 11,00



Figura 133. Balsa de San Antonio (Fuente: BALTEN)

El agua subterránea –comprada o intercambiada por BALTEN en el Valle de La Orotava– llega a la balsa desde Los Dornajos a través del canal Victoria-Santa Cruz, propiedad de la Comunidad Aguas del Norte.

En el verano de 2017 comenzó a funcionar la obra de *«Aducción a la Balsa de San Antonio desde el Canal del Norte (T.M. de la Matanza de Acentejo)»*, acometida por el CIATF y que consiste en una conducción de impulsión de 1,5 km de longitud y desnivel de 220 m para suministrar desde aquel canal un caudal de hasta 150 m^3/h, indistintamente, al abastecimiento urbano de La Matanza y la Victoria y al regadío agrícola a través de este embalse. Esta actuación ha supuesto un aporte de agua de buena calidad química, muy importante desde los aspectos de salubridad –derivado del flúor– y de agronomía –alta salinidad.

XVIII.7.1. La cuenca aportadora y el tomadero.

CUENCA VERTIENTE			ANÁLISIS HIDROLÓGICO		
cota en cabecera	1.600	m	período de estudio	1950-1980	
cota en el tomadero	925	m	T de concentración	0,75	hora
superficie	1,38	km2	umbral escorrentía	36	
perímetro	7,6	km	Q escorrentía ribera	0	L/s
longitud	3,8	km	K agotamiento (a)	3	dia-1
pendiente	14	%	hidrogramas	3, 6 y 9	horas

Tabla 42. Características de la cuenca vertiente al tomadero de San Antonio

Al estudio hidrológico de este posible aprovechamiento le habían precedido todos los comentados hasta ahora. Aunque todavía las balsas estaban en ejecución o por comenzar y por tanto, no se había tenido oportunidad de comprobar el comportamiento real de los barrancos estudiados, las pocas experiencias de campo acumuladas en el corto lapso de tiempo que medió entre aquellos estudios y el relativo a esta balsa, nos conminaron a ser más contundentes con los análisis de campo y más selectivos con las encuestas a los vecinos del lugar.

De cuatro cuencas inicialmente seleccionadas[7], solamente una, la del barranco de San Antonio, ofrecía señales de corrientes de escorrentía regulares en sus cauces. Las opiniones de los encuestados, aunque contradictorias en cuanto al volumen de agua y frecuencia de las riadas[8], también coincidían en considerar esta cuenca como la única de la comarca que podría aportar agua a la balsa.

La inspección en campo fue exhaustiva; muy especialmente la del cauce principal. Había que fijar un lugar para el emplazamiento del tomadero que conjugara factores tales como accesibilidad, distanciamiento razonable respecto de la balsa, cuenca vertiente de relativa impermeabilidad y, sobre todo, mínimas pérdidas posibles por infiltración en el cauce aguas arriba.

Finalmente, el emplazamiento se fijó sobre el cauce del barranco a la cota 925 m.s.n.m. y a un distancia de la balsa de unos 1.900 metros medidos en planta.

[7] Vertientes a los barrancos de La Vica, Los Bernabeles, Cabrera y San Antonio. Las tres primeras se eliminaron por la manifiesta falta de signos de corrientes de agua en los cauces, ocupados por bancales de cultivo, derrubios de ladera, vegetación, escombreras de galerías,..

[8] Había quien opinaba que puede «correr» unas dos veces por año durante 2 a 3 días y un caudal de 10.000 L/hora; otros manifestaban que llevaba agua en los meses de enero a abril; o con viento «palmero» o incluso había quienes mantenían que puede «correr» de octubre a marzo.



Figura 134. Tomadero del barranco de San Antonio.
La riada superó con creces la capacidad del conducto de derivación y alivió por vertedero.

XVIII.7.2. Datos de explotación.

En el gráfico adjunto, extraído del consiguiente estudio hidrológico, se representan dos alternativas de explotación: sin regulación previa en el tomadero y con un cuenco adosado de 10.000 m^3 de capacidad. Con la primera propuesta un conducto de 0,6 m^3/s de capacidad –adoptada en el proyecto de construcción– derivaría a la balsa con una garantía del 80% un volumen anual medio de 7.000 m^3. El mismo conducto, si parte de un embalse previo de 10.000 m^3 de capacidad conduciría hasta la balsa 10.500 m^3/año con las mismas garantías de suministro.

El aporte real medio de agua de escorrentía a la balsa ha sido de 10.000 m^3/año.

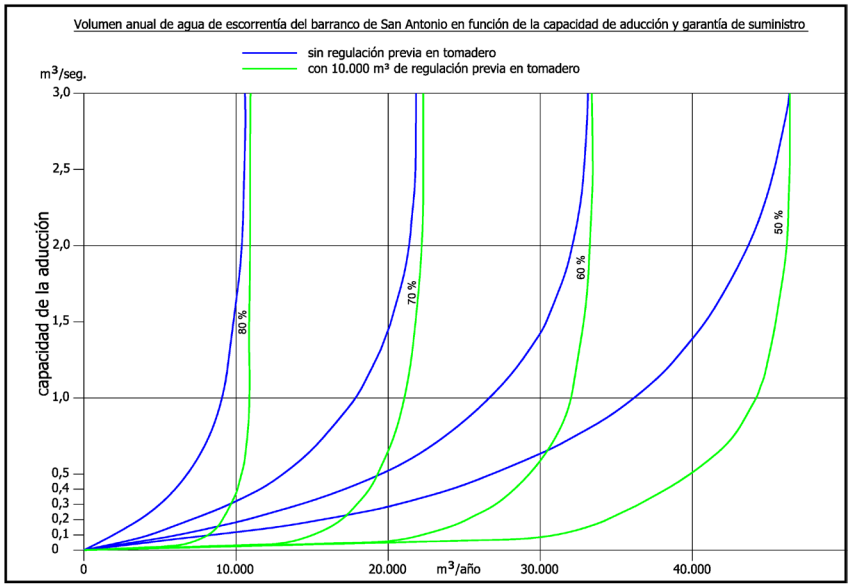


Figura 135. Volúmenes anuales medios de agua de escorrentía que se derivarían a la balsa de San Antonio con distintas capacidades del conducto de aducción y de almacenamiento

XVIII.8. EL APROVECHAMIENTO DE LAS ESCORRENTÍAS URBANAS EN «OTRAS» BALSAS DE BALTEN



Figura 136. Balsas de La Florida y La Tabona y tomadero de El Remate (BALTEN)

Años después de la puesta en servicio de la balsa de La Tabona en el municipio de La Guancha y la de la Cruz Santa en el de Los Realejos se decide por parte de BALTEN complementar los aportes de agua subterránea que alimentan ambas balsas con agua superficiales. Ambos tomaderos se emplazaron en puntos donde los suelos de su entorno son relativamente impermeables, con lo que se garantizaban capturas de agua, no de grandes caudales, pero sí regulares en el tiempo.

XVIII.8.1. La balsa de La Tabona

La de La Tabona es el tercer escalón –bajo La Florida– de las balsas de la comarca de Icod. Sus fuentes prioritarias de suministro son las galerías de la zona, en especial Santa Teresa y San Antonio del Pinalete, que quedan por debajo de aquélla, que también vierte hacia La Tabona en caso de llenado (Fuente: BALTEN).

Término municipal: La Guancha **Año de ejecución**: 1989
Tipología: Materiales sueltos impermeabilizada con geomembrana
Volumen a máximo nivel de embalse (m^3): 149.241
Cota máximo nivel de embalse (m): 347 **Altura de agua (m)**: 15,50

El tomadero de **El Remate** se localiza en el barranco del mismo nombre –también llamado de La Cantera– a la cota 426 m.s.n.m. al pie del casco urbano de La Guancha donde recibe casi directamente las aguas superficiales que discurren por sus calles y plazas. Del tomadero parte un conducto de 0,30 m^3/s de capacidad que transporta el recurso hasta la balsa.



Figura 137. Balsa de La Tabona (Fuente: BALTEN).

Conseguir emplazamientos propicios para la localización de embalses no resultó empresa difícil en este caso; La Tabona ocupa una de las múltiples hoyas que el volcanismo reciente ha esparcido en esta comarca.

XVIII.8.2. La balsa de Cruz Santa

Es el tercer escalón –el más bajo– de las balsas del Valle de La Orotava y sirve de fuente de suministro a una zona de medianía baja del municipio de Los Realejos y a las plataneras que aún subsisten en todo aquél, e incluso, por la calidad de las aguas embalsadas, a las de los municipios de San Juan de La Rambla y La Guancha… Localizada en la conocida por Hoya del Granadillar, nombre de uno de los tres conos volcánicos que se alzaban en el Valle… resultó un excelente emplazamiento para albergar el 44% de la capacidad asignada en el «Estudio de Viabilidad PBNT» al Valle de La Orotava (Fuente: BALTEN).

Término municipal: Los Realejos **Año de ejecución**: 1988
Tipología: Materiales sueltos impermeabilizada con geomembrana
Volumen a máximo nivel de embalse (m^3): 664.705.
Cota máximo nivel de embalse (m): 375 **Altura de agua (m)**: 16,00



Figura 138. Balsa de La Cruz Santa y conducción que une el tomadero de El Colegio (BALTEN)

Desde el tomadero de El Colegio le llegan a la balsa las aguas pluviales que discurren por los viales del casco urbano de la Cruz Santa situado aguas arriba

XVIII.9. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LAS BALSAS DEL COMPLEJO HIDRÁULICO DE «VALLE DE SAN LORENZO»

XVIII.9.1. Introducción

De todos los complejos hidráulicos que gestiona BALTEN el único que no dispone de aprovechamiento directo de aguas de escorrentía superficial es de Valle de San Lorenzo y sin embargo es el segundo en importancia respecto al volumen anual medio recibido y almacenado de este recurso.

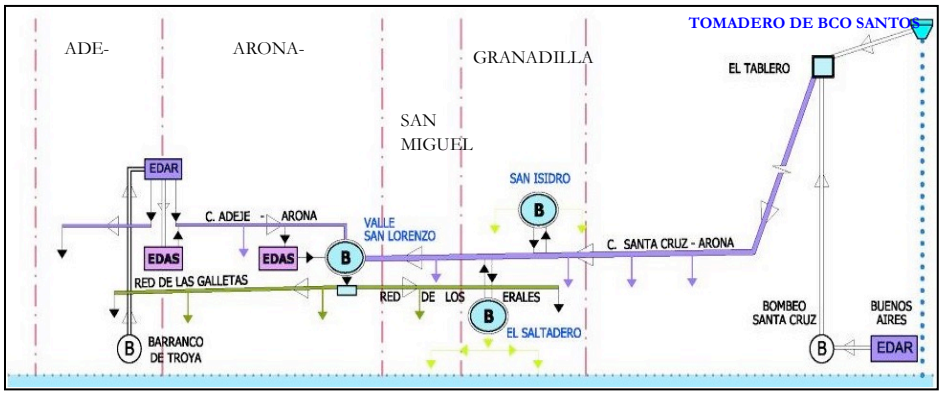


Figura 139. Sistema hidráulico de BALTEN en Valle de San Lorenzo.



Figura 140. Balsa de Valle de San Lorenzo

El conducto Santa Cruz-Arona se suministra en cabecera, además de con aguas residuales depuradas de Santa Cruz, con las de escorrentía superficial del barranco de Santos, de tal forma que aguas de lluvia caidas en el monte de Las Mercedes (La Laguna) riegan cultivos en el Valle de Las Galletas.

XVIII.9.2. Datos de explotación

APORTACIONES DE ESCORRENTIA DERIVADAS A LA BALSA DE VALLE DE SAN LORENZO											
DESDE EL TOMADERO DE BARRANCO SANTOS											
año	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**MEDIA**
m^3/1000	645	168	101	208	74	631	291	362	189	108	**278**

Tabla 43**.** Aportaciones de agua de escorrentía del bco. de Santos a la balsa de Valle de San Lorenzo

El volumen de agua desviado hacia Valle Molina desde el barranco de Santos, al menos, ha debido ser equivalente al destinado al sur. Cabe pues calificar el rendimiento del tomadero del barranco de Santos de muy positivo, no sólo por el volumen de agua captada y derivada (550.000 m^3/año), sino por la garantía en la disponibilidad. Aún en el año más seco (2013) del período considerado, el barranco habría aportado al sistema unos 150.000 m^3 de agua.

XVIII.10. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «LA ATALAYA»



Figura 141. Encauzamiento del bco. de Las Torres, balsa de La Atalaya y aliviadero al cauce (CIATF)

Los 110.000 m^3 de capacidad dsponibles para el almacenamiento de agua en la balsa de La Atalaya en Adeje lo comparten las aguas subterráneas alumbradas en pozos y galerías de la zona y las aguas superficiales captadas en el barranco de Las Torres y dos de sus afluentes.

XVIII.11. CONSIDERACIONES FINALES

XVIII.11.1. Acerca de los estudios hidrológicos para el PBNT

Los autores de los estudios hidrológicos elaborados para el Plan de Balsas, al final de los trabajos, redactamos un informe en el que se hacia un resumen de las conclusiones a que se había llegado en materia de aguas superficiales:

…Los datos del cuadro adjunto reflejan el resultado de los trabajos realizados …

VALORES MEDIOS INTERANUALES DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA EN LAS CUENCAS DEL PBNT				
Cuenca (barranco)	**Cota** (m)	**Superficie** (km^2)	**Pluviometria** (mm)	**Coeficiente Escorrentía**
Santos	360	24,9	850	9
Los Rodeos	355	10,7	790	7
Las Lajas	755	2,5	850	10
San Antonio	925	1,4	920	5
Farrobillo	390	5,0	940	1
Aguamansa	1.000	3,9	910	11
La Puente	990	6,8	960	8
Benijos	600	1,9	920	2
Cerrudo	575	9,8	830	3
LaRaya	685	12,7	880	3
Calera	460	5,3	750	4
Garabato	515	1,3	750	5
Ruiz	700	5,2	860	4
Obispo	800	5,7	840	3
Castro	350	13,7	610	0

Tabla 44**.** Valores medios del coeficiente de escorrentía en los estudios hidrológicos del PBT

Con respecto a dichos datos, conviene resaltar que las series pluviométricas utilizadas en los estudios del Plan de Balsas incluyeron un conjunto de años correspondientes a la década de los 50 que en Canarias resultaron extraordinariamente lluviosos… de modo tal que los módulos pluviómetricos –y con ellos los de escorrentía…- están en cierto modo mayorados a resultas de la contabilización de aquellos años.

*No obstante lo anterior, el factor más decisorio en la escorrentía insular es la **infiltración en cauces**. En los barrancos tinerfeños se producen, en todo caso, pérdidas de caudal concentradas a lo largo de cortos tramos de los cursos de agua, actuando a modo de sumideros. En resumen, por encima de toda consideración está el hecho innegable y al alcance de cualquier mediano conocedor de la isla de que, por frecuentes que sean las avenidas de cabecera, resulta realmente insólito que un barranco llegue a verter aguas al mar*

Una vez puestas en servicio las balsas, los datos de explotación confirmaron, en algunos casos, los malos presagios apuntados en el informe. No obstante, de los estudios hidrológicos redactados para el PBNT el de la balsa Aguamansa y el de Llanos de Mesa fueron los únicos *pifiados*. Hubo otros, como los redactados para Montaña de Taco y Valle Molina que, originalmente, tampoco vieron refrendadas sus previsiones con los aportes de escorrentías que recibieron; en estos casos el motivo de tales desencuentros residía en el nombrado *fenómeno de infiltración en cauces*. En otras dos balsas: Benijos y San Antonio los recursos superficiales apenas participan en sus respectivos sistemas de explotación.

XVIII.11.2. Acerca de los datos de explotación de las balsas

En los «sistemas» de BALTEN donde las aguas superficiales tienen mayor protagonismo se arbitraron medidas complementarias al aprovechamiento inicial proyectado –descritas en apartados precedentes– que han dado resultados positivos, tal como lo demuestran los datos de explotación de las balsas de Montaña de Taco (150.000 m^3/año) y Valle Molina (485.000 m^3/año) y los que se aportan en el próximo capítulo para la balsa de Trevejos (55.000 m^3/año). Cifras estas, modestas si se comparan con las relativas a embalses de otras islas, y muy modestas respecto de las peninsulares. Realmente, son consecuentes con las superficies de sus cuencas tributarias y con las características del aprovechamiento, pues tanto la captación con tomaderos como su derivación hasta el embalse mediante conductos, están muy limitadas por las capacidades de las citadas infraestructuras.

A lo largo de los años de actividad de BALTEN se ha demostrado que el mayor inconveniente para conseguir el óptimo aprovechamiento de las aguas superficiales en las balsas reside en las propias escorrentías. Al inicio del temporal, la riada suele venir acompañada de gran cantidad de arrastres que obstaculizan parcial o incluso totalmente el acceso del agua hasta el conducto de derivación. A pesar de las operaciones de mantenimiento que el personal de BALTEN realiza regularmente, es materialmente imposible anular totalmente esta incidencia. Muchos temporales se originan en horas nocturnas; e incluso si tienen lugar durante el día es aventurado introducirse en un barranco en plena tormenta para acometer dichas labores.



Figura 142. Tomadero del Monte del Agua colmatado de escombros (BALTEN)



Figura 143. Labores de limpieza en el tomadero de Monte del Agua (BALTEN)
La reducida dimensión de la obra de captación facilita las labores de limpieza, en un lugar inaccesible a la maquinaria (BALTEN)



Figura 144. El tomadero del Monte del Agua una vez desescombrado (BALTEN)

A la vista de las imágenes se entiende que las mayores diferencias entre las aportaciones deducidas en el MHSup y las que realmente alcanzan las balsas ocurran con el suceso de aquellos temporales de lluvia que originan importantes volúmenes de escorrentías líquidas y sólidas.

CAPÍTULO XIX
EMBALSES DE TITULARIDAD PÚBLICA PREVIOS AL PLAN DE BALSAS DEL NORTE DE TENERIFE

En el presente capítulo se dedican unas breves reseñas a tres embalses que en fechas anteriores al Plan de Balsas del Norte de Tenerife (PBNT) fueron proyectados y construidos por iniciativa de la Administración central o insular.

XIX.1. LA BALSA DE «EL SALTADERO»

La primera[9] gran obra de titularidad pública para almacenamiento de agua ejecutada en la isla fue la balsa de **El Saltadero** en Granadilla. Ésta, de 458.000 m^3 de capacidad, formaba parte del denominado «*Plan Hidráulico Insular*» fruto de un convenio en el año 1967 entre el Ministerio de Obras Públicas, el Ministerio de Agricultura y el Cabildo Insular de Tenerife. Una vez construida, tuvo un primer y único usuario: el Aeropuerto Reina Sofía que al cabo del tiempo renunció a su explotación por problemas sanitarios. El abandono dio lugar al consiguiente deterioro de la pantalla impermeabilizante y de la obra en sí.

Años más tarde, el inicio del sistema de aprovechamiento de las aguas residuales regeneradas de Santa Cruz dio otra oportunidad a la balsa. Impermeabilizada de nuevo en 1999, comenzó a operar, junto con las balsas de San Isidro y Valle de San Lorenzo, en el sistema hidráulico que BALTEN gestiona en el vértice sur de la isla.

> *La necesidad de evitar en el embalse el abrevadero de aves, especialmente gaviotas, derivada de la proximidad del Aeropuerto, exigió la instalación de una cubierta con luces en torno a los 250 m y una superficie de 38.000 m^2 –que podría albergar a la totalidad de la manzana que contiene al "Estadio Rodríguez López" de la capital–. Además de aquel efecto, la cubierta resultaba un beneficio para la evaporación, la protección de la pantalla de impermeabilización y la formación de algas en las largas estadías de almacenamiento de aguas regeneradas durante el invierno –lo que es muy importante, ya desaladas– para su posterior incorporación en la época estival.*
>
> *Dado el emplazamiento del embalse a la cota 90 m –muy por debajo de la piezométrica de transporte– se dotó a la balsa de una estación de bombeo que impulsa el agua hasta una arqueta de descarga –cota 236,00 m–, desde donde se obtiene la altura suficiente para que las aguas se incorporen a la "Conducción de Transporte Santa Cruz-Arona".* (Fuente: BALTEN)

[9] La «Charca» del Estado en Candelaria –ejecutada en el año 1969– fue construida por la Administración Central para ser depósito de cabecera del también denominado canal del Estado.

Término municipal: Granadilla **Año de ejecución**: 2000
Tipología: Materiales sueltos impermebilizada con geomembrana. Fondo natural.
Volumen a máximo nivel de embalse (m³): 463.855
Cota máximo nivel de embalse (m): 110,20 **Altura de agua** 20,60



Figura 145. Balsa de El Saltadero entre parcelas de invernadero y la cabecera Norte del Aeropuerto Reina Sofía. (Fuente: BALTEN)

XIX.2. LA PRESA DE «LOS CAMPITOS»

XIX.2.1. Antecedentes

La ya referida presa de Los Campitos, ejecutada a cuenta de la Administración Central, permanece sin uso desde su terminación.

Viene bien recordar que el objetivo para el que fue proyectada y construida la presa de Los Campitos no fue la explotación de aguas de escorrentía superficial –no dispone de cuenca vertiente que la pueda alimentar directamente– sino el almacenamiento de las excedentes en los meses de otoño-invierno de las subterráneas alumbradas en galerías. Reiteramos de nuevo que la década de los años cincuenta fue excepcionalmente húmeda; de modo que el agua de lluvia cubría en buena parte del año las necesidades hídricas de los cultivos, liberando caudales de agua subterránea destinados a tal fin. Parte o incluso todo el caudal alumbrado en galerías que llegaba a sus bocaminas, al no tener demanda, se «arrojaba» a los barrancos, esquilmando las reservas del acuífero insular. Si bien era empresa harto difícil parar totalmente esta «sangría» –algunas galerías disponían de diques

de cierre para regular los caudales de salida– al menos había que evitar que tales excedentes tuvieran el mar como destino. Por medio de los canales del Norte y del Sur se derivarían hasta la presa desde donde se les buscaría destino.

Ejecutadas las citadas infraestructuras resultó que las décadas posteriores a la muy húmeda de los años cincuenta no lo fueron tanto; además con el Plan de Balsas del Norte de Tenerife el cometido original de la presa de Los Campitos lo asumieron las balsas ejecutadas al efecto en varias comarcas del norte de la isla. No hubo ni hay pues excedentes de aguas subterráneas con los que alimentarla.

XIX.2.2. Aprovechamiento de las escorrentías del barranco de Santos

El primer intento de aprovechamiento externo de las escorrentías del barranco de Santos tuvo lugar a mediados de los años ochenta. La iniciativa consistía en derivar hasta la presa de Los Campitos las aguas de escorrentía que interceptara un tomadero a construir en el cruce del barranco con el canal del Sur, utilizando como medio de transporte dicho canal –también sin uso– hasta su confluencia con el del Norte; el cual conduciría el agua hasta la presa, localizada en una cuenca vecina.

Ejecutada la obra de toma y otras de carácter complementario[10], la operación de trasvase apenas sobrevivió al primer temporal de lluvias[11]. La presa llegó a almacenar en apenas dos semanas más de 450.000 m^3 de agua procedente del barranco de Santos; acopio éste que fue desapareciendo de la vista conforme el piso del fondo lo engullía. Circunstancia ésta que ya se presumía, pues se tenía asumido que la explotación de la presa no sería efectiva sino hasta después de su impermeabilización. No obstante, la experiencia sirvió, entre otras, para confirmar el orden de magnitud de los volúmenes de escorrentía susceptibles de trasvasar, estimados empíricamente en un estudio hidrológico previo. También se perseguía comprobar el grado de estanqueidad del vaso de presa y evaluar hasta que nivel de almacenamiento convenía su impermeabilización.

[10] Por aquellas fechas, el canal del Norte tenía como función transportar el agua subterránea, originaria de varias explotaciones del Valle de La Orotava y del nordeste de la isla, con destino al consumo urbano de Santa Cruz. Hubo pues que habilitar un conducto en paralelo que asumiera dicha función, cediendo así el canal toda su capacidad para las aguas de escorrentía superficial.

[11] El sistema se puso en explotación a mediados de noviembre de 1989, funcionando con normalidad tanto la toma como el conducto de derivación durante un par de semanas. No obstante, el tomadero fue acumulando en su interior gran cantidad de arrastres sólidos que al cabo de otras dos semanas le dejaron prácticamente inhabilitado; de tal manera que las escorrentías generadas por un de temporal de lluvias copiosas e intensas, ocurrido la última semana de diciembre, obviaran la obra de toma circulando cauce abajo. De cualquier forma, durante aquellas dos primeras semanas de noviembre pudieron hacerse controles de caudales circulantes por el canal y de volúmenes embalsados a partir de apreciaciones, que no mediciones, de los incrementos periódicos de la altura del agua embalsada, teniendo en cuenta las pérdidas de agua a través del vaso, en aumento conforme el agua cogía altura. Se llegó a estimar un caudal de fuga continuo de 0,5 m^3/s.



Figura 146. Vaso y paramento interno de la presa de Los Campitos.
En la margen izquierda se construyó un depósito regulador de agua para el consumo urbano de Santa Cruz (CIATF)

Con el paso del tiempo, el tomadero acabó colmatado de escombros. La impermeabilización quedó en suspenso y, en consecuencia, el proyecto de aprovechamiento de aguas superficiales en la presa, también. Por otro lado, aquellos temporales de los años cincuenta dejaron de presentarse tan asiduamente; ya no eran tan cuantiosos los excedentes de agua subterránea y además su localización era menos concreta que en aquellos años. Se optó, finalmente, por un aprovechamiento más local, dando origen al Plan de Balsas del Norte de Tenerife.

Más adelante, con el denominado Plan Operativo de Los Campitos (POC) –se comenta en posterior capítulo– se retomó de nuevo la idea de derivar aguas de escorrentía hasta la presa; pero esta vez captándola en los cauces de barrancos de Tabares y Valle Jiménez, ambos afluentes del de Santos.

El segundo intento de aprovechamiento de las escorrentías del barranco de Santos, sí fructificó. Tenía como finalidad derivarlas hasta la balsa de Valle Molina; proyecto éste que hemos comentado en el capítulo anterior dedicado a las balsas.

XIX.3. LA PRESA DE «EL RÍO»

En el Proyecto Canarias SPA-15 se recomendaba para la isla de Tenerife que: *el aprovechamiento de los recursos superficiales puede y debe incrementarse mediante la construcción de embalses y depósitos,..* Se redactaron dos proyectos de obra: la presa de Acaymo en el barranco de Las Huertas en San Andrés (Santa Cruz de Tenerife) y la presa de El Río en el barranco del mismo nombre que divide los términos de Arico y Grandilla. Sólo se ejecutó esta última con un muy desafortunado desenlace.

Construida como presa de gravedad por la Dirección General de Obras Hidráulicas del MOPU, nunca ha estado en uso.



Figura 147. Paramentos de aguas arriba y de aguas abajo de la presa de El Río. (CIMA)

El vaso, ahora cubierto por acarreos, lo conforma la roca natural, cuya supuesta impermeabilidad, deducida a partir de varios sondeos de prueba, no fue tal.

Las aguas de escorrentía generadas con el temporal de lluvia ocurrido en la Semana Santa de 1977 que prácticamente llenaron el embalse, apenas mantuvieron una semana de estancia en su interior. El subsuelo bajo el vaso del embalse fue el receptor del agua acopiada. Varios intentos de impermeabilización mediante campañas de inyecciones apenas lograron reducir las pérdidas. En la actualidad sigue estando fuera de servicio.

CAPÍTULO XX
TRES PROYECTOS COMARCALES DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES

XX.1. INTRODUCCIÓN

En la década de los noventa del pasado siglo se redactaron tres grandes proyectos comarcales genéricamente conocidos por: TENADE, LOS CAMPITOS y TREVEJOS. En los tres se contemplaba el incremento de los recursos hídricos mediante la explotación de las aguas de escorrentía superficial que circulan por determinados barrancos localizados en las comarcas afectadas. Otros objetivos eran: habilitar el mayor grado de distribución de tales recursos mediante las pertinentes infraestructuras de regulación y transporte; mejorar la calidad de los recursos subterráneos disponibles o importarlos desde comarcas vecinas.

NOTA: Los apartados que siguen, aunque contienen la descripción esquemática de cada proyecto, concentran su exposición en las explotaciones previstas de aguas superficiales así como en los estudios hidrológicos previos que dieron lugar a las propuestas de aprovechamiento del recurso.

XX.2. LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

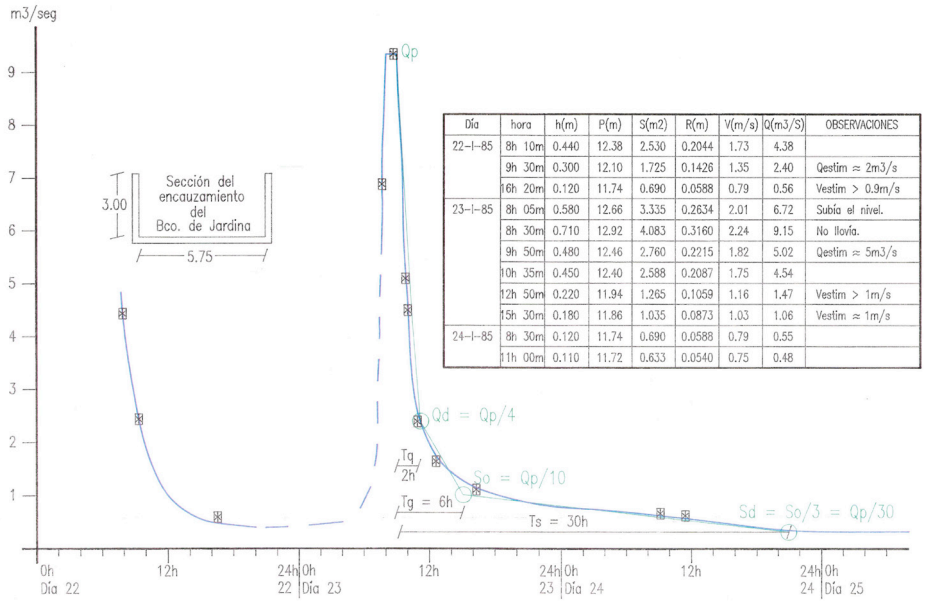
En 1992, fecha del encargo del estudio hidrológico que acompañará al primero de los tres proyectos (TENADE), varias balsas del PBNT estaban ya en explotación. En aquellos primeros años BALTEN facilitó una valiosa información relativa a la captación y almacenamiento de las aguas superficiales; datos de los que se deducían, entre otros, el inicio de la captación, los caudales derivados –medidos a diferentes intervalos–; el tiempo de agotamiento de la escorrentía indirecta; los volúmenes almacenados, …También se tuvo ocasión de observar el discurrir de las riadas en varias de las cuencas que serían objeto de explotación. Y además, ya se tenía asumida la incorporación del *fenómeno de infiltración en cauces* en los estudios hidrológicos.

XX.2.1. Información de base y operaciones previas

Los apartados relativos a la información de base y al análisis de las precipitaciones se acometieron de igual forma que en aquellos estudios aislados de cuencas hidrográficas realizados para el PBNT. Es a partir de la construcción de los hidrogramas cuando se hacen nuevas incorporaciones al proceso de cálculo.

XX.2.2. Construcción de hidrogramas

La construcción de hidrogramas se hizo, bien a partir de **datos de aforo**, cuando los había, o bien a partir del **hidrograma unitario** propuesto por el U.S. Solil Conservation Service.



Día	hora	h(m)	P(m)	S(m2)	R(m)	V(m/s)	Q(m3/S)	OBSERVACIONES
22-I-85	8h 10m	0.440	12.38	2.530	0.2044	1.73	4.38	
	9h 30m	0.300	12.10	1.725	0.1426	1.35	2.40	Qestim ≈ 2m3/s
	16h 20m	0.120	11.74	0.690	0.0588	0.79	0.56	Vestim > 0.9m/s
23-I-85	8h 05m	0.580	12.66	3.335	0.2634	2.01	6.72	Subía el nivel.
	8h 30m	0.710	12.92	4.083	0.3160	2.24	9.15	No llovía.
	9h 50m	0.480	12.46	2.760	0.2215	1.82	5.02	Qestim ≈ 5m3/s
	10h 35m	0.450	12.40	2.588	0.2087	1.75	4.54	
	12h 50m	0.220	11.94	1.265	0.1059	1.16	1.47	Vestim > 1m/s
	15h 30m	0.180	11.86	1.035	0.0873	1.03	1.06	Vestim ≈ 1m/s
24-I-85	8h 30m	0.120	11.74	0.690	0.0588	0.79	0.55	
	11h 00m	0.110	11.72	0.633	0.0540	0.75	0.48	

Figura 148. Hidrograma real en el bco. de Jardina (afluente del bco. de La Carnicería). Construido a partir de los aforos realizados en enero de 1985 en el cauce

Se confeccionaron hidrogamas sintéticos de escorrentía directa, bajo la consideración de:

- la aportación de escorrentía del aguacero (A)
- el caudal punta del aguacero (Qp)
- la duración del aguacero (Td)
- la intensidad de la lluvia (I)
- la superficie (s) y distribución de la cuenca
- el tiempo de concentración (Tc)

La **escorrentía indirecta** se definía mediante el acoplamiento al hidrograma de escorrentía directa una curva de agotamiento del tipo $\mathbf{S} = \mathbf{S}o \cdot e^{-at}$. Siendo:
S: El caudal al cabo de un tiempo t.
So: El caudal inicial de fluencia de la escorrentía indirecta, deducido a partir del caudal punta (Qp) del aguacero en cuestión.

En general, se adoptó una ley del tipo: So = Qp / ((Qp · X) + Y) donde los valores de X e Y, deducidos mediante tanteos, debían ser consecuentes con el valor que So tenía que adoptar para cumplir en cada caso la premisa inicial: Ai (volumen de retención de agua por el suelo) = $\int s \cdot dt$
a: parámetro relacionado con el tiempo máximo de duración de la escorrentía indirecta cuyo valor se estimaba a partir del control de avenidas en campo.

A continuación se procedía a la reconversión de la estructura del hidrograma de escorrentía «total» en una figura geométrica, envolviéndola mediante una línea quebrada. Para facilitar los cálculos matemáticos se fijaban, además del caudal punta (Qp) y el caudal inicial de fluencia de la curva de agotamiento (So), dos caudales intermedios: el primero (Qd) asociado a Qp y el segundo (Sd) a So. En abscisas se distinguían: el tiempo de duración del aguacero (Td); el de concentración (Tc); el de ascenso del hidrograma (Ta) y el que media entre Qp y Qd (Tq)

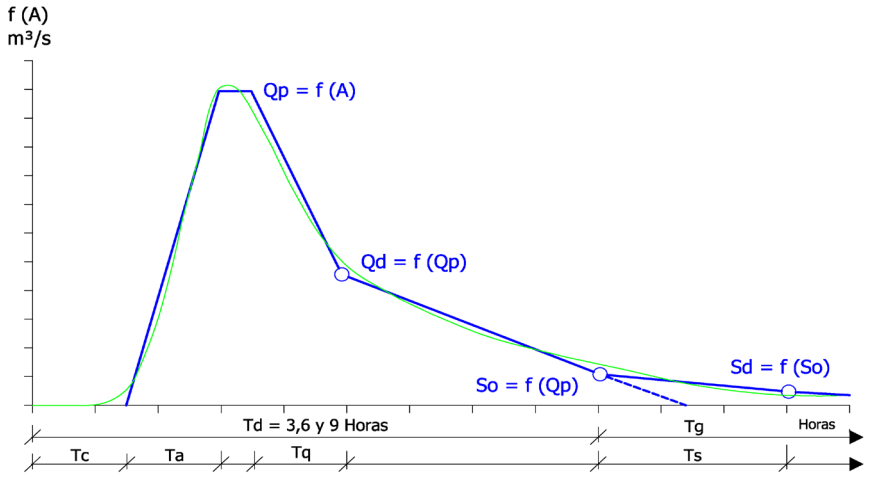


Figura 149. Hidrograma de escorrentía total reconvertido en una línea quebrada.

Además, la geometría del hidrograma se rectificaba en la medida en que la observación de las riadas permitía aproximar el valor de determinadas variables a la realidad de la cuenca en estudio[12].

Por último, se consideraba la posible existencia de caudales de agua subterránea –permanentes o casi permanentes– sobre el cauce en cuestión que, procedentes de acuíferos colgados, proporcionaran una posible escorrentía de «ribera».

Con los hidrogramas así construidos quedaba definida la avenida relativa a un aguacero aislado. Ahora bien, los temporales que originan escorrentías, comúnmente se significan en varios aguaceros continuos o separados por varios intervalos sin lluvia; dando lugar a que, una vez que aparecen las primeras escorrentías, la fluencia de éstas en el cauce no se interrumpa hasta un tiempo –entre una hora y varios días– después de sucedido el último aguacero. Se consideró pues la posibi-

[12] Las modificaciones más relevantes afectaron a la curva de ascenso. El tramo inicial, que en el hidrograma sintético, se presenta largo y tendido, no suele tener su equivalencia en las avenidas de los barrancos insulares pues los primeros aportes son retenidos en los cauces, rellenando las hoyas que encuentran a su paso. Por ello, el **tiempo de concentración** (Tc) suele ser bastante mayor que el deducido empíricamente. Circunstancias éstas que se atenúan conforme las lluvias van siendo más seguidas. El valor de Qp se rebajó prolongando su tiempo de permanencia; la estructura cuasitriangular del hidrograma de escorrentía directa se reconvertía en trapezoidal.

lidad de que el hidrograma de un aguacero se superponga a la curva de descenso del anterior, que a su vez ha podido superponerse a la de otro precedente.

XX.2.3. El umbral de escorrentía

En general, cuando el aguacero afectaba a la totalidad de la cuenca se establecían hasta 5 niveles diferentes de estado de humedad del suelo; a cada uno de los cuales se le asignaba un valor de Po. Incluso cuando la lluvia diaria se había producido en varios subaguaceros, se creó una escala complementaria de 3 nuevos niveles.

XX.2.4. Procedimiento de cálculo: Modelo Matemático

En razón a la complejidad del estudio pretendido todos los cálculos se procesaron en un modelo matemático. Téngase en cuenta que por el cauce de un barranco, en algún momento, pueden estar circulando superpuestos: la escorrentía directa de un aguacero recién ocurrido, el caudal de agotamiento del aguacero precedente e incluso la escorrentía de ribera proporcionada por algún acuífero colgado. Por otro lado, el aprovechamiento de tales caudales había que limitarlo a unas capacidades determinadas de captación, derivación e incluso de almacenamiento. Además, aportes de distintas cuencas tendrían que compartir un conducto de transporte común cuya estructura telescópica había que dimensionar.

En el modelo se operaba con bloques mensuales de información que permitían construir el hidrograma continuo relativo a la serie de aguaceros seleccionados dentro del período de estudio[13].

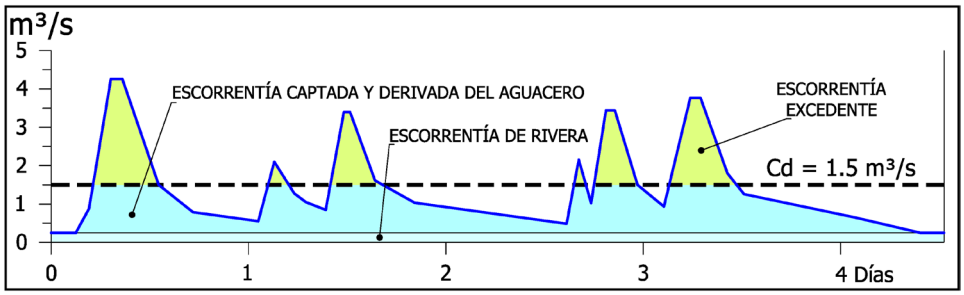


Figura 150. Hidrograma de un temporal de lluvia de varios días de duración. Escorrentías captadas y derivadas a través de un conducto de aducción de 1,5 m³/s de capacidad.

Con los caudales en ordenadas y el tiempo en abscisas se seccionaba la línea quebrada resultante con la capacidad de derivación (Cd). La superficie entre el eje de abscisas y la quebrada –limitada superiormente por la mencionada línea de

[13] Se partía de un estadillo en el que constaba para cada aguacero seleccionado: la aportación de escorrentía subsiguiente (A); el tiempo de duración (Td) y el tiempo de duración de la escorrentía indirecta (Tg). Además se intercalaban los intervalos sin lluvia entre aguaceros, incluidos los largos períodos de los meses de verano.

corte– se hacía equivalente al volumen de agua de escorrentía que un conducto de capacidad Cd derivaría desde el tomadero.

Al igual que en los estudios para el PBNT, la operación precedente se realizaba con varias opciones, disponiendo así de familias de curvas (capacidad de aducción –volúmenes aprovechados) de las que se extraía la capacidad óptima de derivación. Además, el análisis de optimización del aprovechamiento se completaba con varias propuestas de capacidad de embalse que a su vez daban lugar a nuevas familias de curvas para contrastar.

XX.2.5. Resultados. Datos de salida del Modelo

El modelo facilita, en formato calendario, la aportación conjunta derivada de todos los aguaceros sucedidos en cada uno de los meses contemplados en el período de estudio. Lógicamente, se extraía un calendario para cada capacidad de aducción considerada.

Introduciendo un valor de Cd suficientemente elevado, el modelo respondía con un nuevo calendario alusivo a los volúmenes mensuales totales de agua de escorrentía que habrían accedido hasta el tomadero.

XX.3. EL PROYECTO TEN-ADE

XX.3.1. Objetivos

El Plan Hidrológico Insular de Tenerife (PHI) a través de un Informe-Propuesta de PLAN ESPECIAL[14] contemplaba para la comarca Teno-Adeje:

- la mejora de la calidad de las aguas de consumo urbano y agricola
- el aumento de sus disponibilidades hídricas.

Para la consecución del primer objetivo se proponía la ejecución de dos centros de desalinización de las aguas subterráneas de mala calidad alumbradas en algunas galerías de la zona; centros éstos que se ubicarían en los dos núcleos principales de distribución: las tanquillas de Tamaimo en Santiago del Teide y las tanquillas de Aripe en Guía de Isora, en los que se concentraba el 90% de la producción local.

El segundo objetivo se alcanzaría a partir de:

1. La recuperación de los caudales de **agua subterránea** que por su baja calidad tenían como destino los cauces de los barrancos y que una vez tratados en las citadas plantas desalinizadoras serían viables para el consumo.
2. La explotación de las **aguas de escorrentía** de algunos de los barrancos que discurren por el denominado Macizo de Teno a partir de un aprovechamiento compartido con la comarca norteña de la Isla Baja a la que se le derivarían parte de las escorrentías de las cuencas más septentrionales.

[14] PLAN ESPECIAL DE APROVECHAMIENTO DE NUEVOS RECURSOS EN LA VERTIENTE OESTE DE TENERIFE: TEN-ADE

3. La **reutilización** de los recursos hídricos consumidos en el abasto de la población o del turismo que, una vez usados, podrían regenerarse en la planta de tratamiento Adeje-Arona –su construcción era inminente– para su posible reutilización en la agricultura de la comarca.

XX.3.2. Infraestructuras hidráulicas proyectadas

Tales operaciones necesitaban de la ejecución de varias infraestructuras específicas, que para el denominado **aprovechamiento Sur** consistirían en:

- Cinco azudes para la captación de las escorrentías de las cinco cuencas más meridionales de Teno:
  1. La Vica
  2. Masca
  3. El Sauce
  4. Los Roque
  5. Los Quemados
- Un conducto para la derivación de las escorrentías hacia Tamaimo usando para su tendido los túneles del inacabado canal Icod-Adeje.
- Dos balsas: Tamaimo (Santiago del Teide) que recogería los aportes de aguas superficiales y Lomo del Balo (Guia de Isora) para la regulación de los aportes subterráneos.
- Prolongar en tubería el canal Icod-Adeje –previa rehabilitación del tramo existente– hasta las tanquillas de Los Menores en Adeje.
- Extender hasta la zona la proyectada —por esas fechas— red de distribución de las aguas residuales regeneradas en el complejo Adeje-Arona.

El **aprovechamiento Norte** contemplaba la ejecución de:

- Tres azudes a ubicar en otros tantos cauces de barranco:
  1. Las Ancas
  2. La Mina
  3. El Carrizal

Los azudes se localizarían a una cota tal que permitiera el acceso por gravedad del agua de escorrentía captada a la balsa de Montaña de Taco.

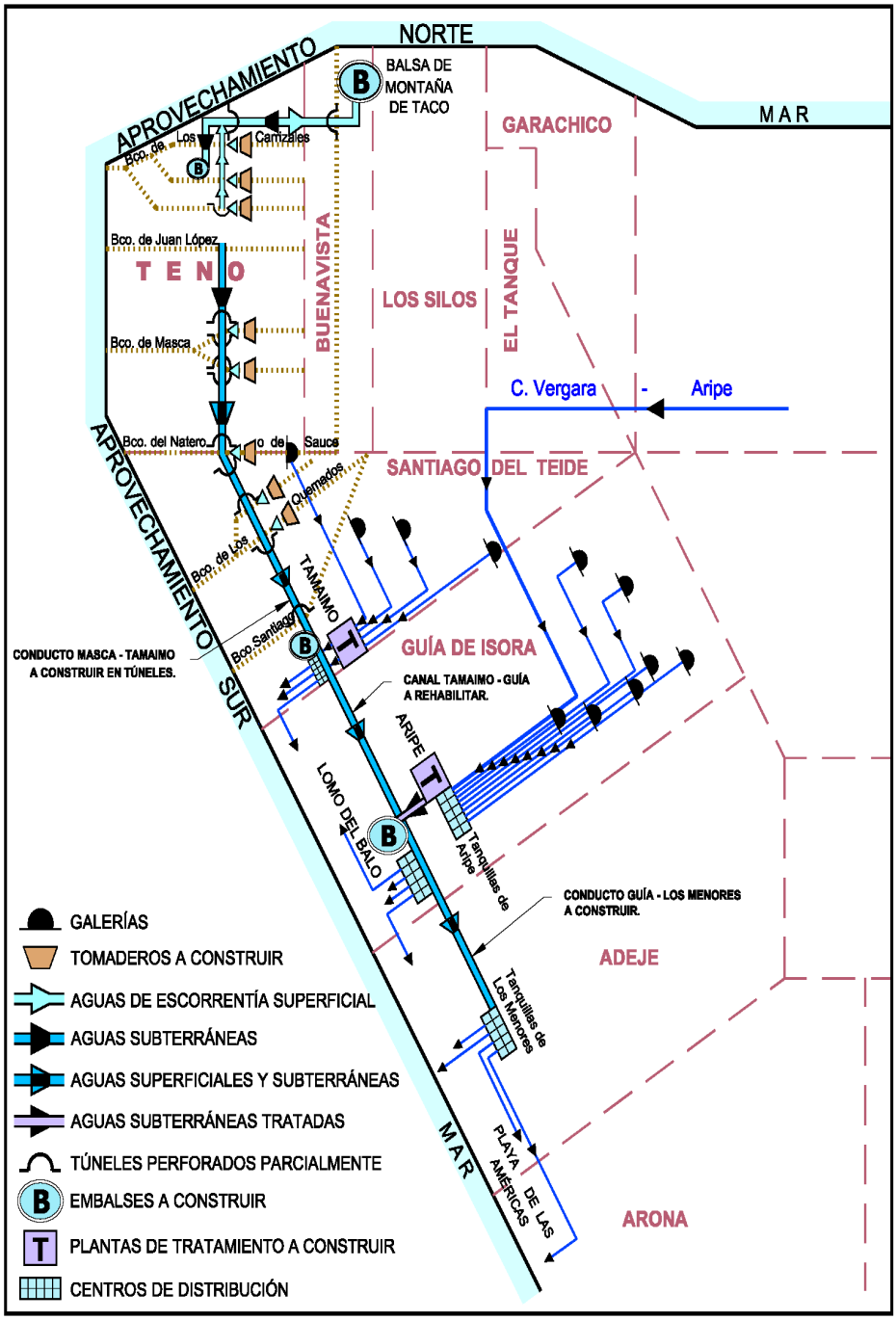


Figura 151. Representación esquemática del Proyecto TEN–ADE

- Un conducto que uniría los tomaderos más septentrionales con la balsa Montaña de Taco. Su tendido se haría a través del túnel –inacabado– que une El Palmar con Los Carrizales.
- Un pequeño depósito regulador en Los Carrizales para uso local

XX.3.3. Esquema del aprovechamiento de las aguas de escorrentía

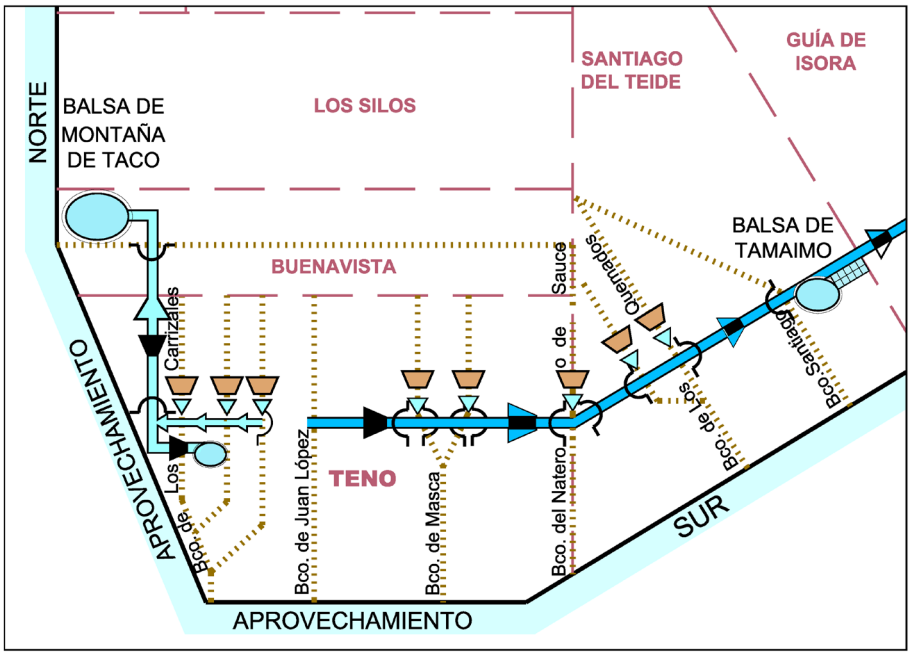


Figura 152. Esquema de explotación de las escorrentías del Macizo de Teno.

El estudio hidrológico se abordó en dos bloques: aprovechamiento sur y aprovechamiento del norte. En cualquiera de los dos se partió con dos premisas:

- Se respetarían los caudales base que desde tiempo inmemorial circulan permanentemente por los cauces implicados.
- En los cauces carentes de caudales base no se trasvasaría todo el caudal de avenida, dejando en libre circulación a determinados caudales ecológicos.

XX.3.4. El aprovechamiento Sur

XX.3.4.1. Cuencas a explotar

Los límites inferiores de las cuencas vertientes a explotar estaban ya fijados pues deberían localizarse en la confluencia de sus respectivos cauces principales con el futuro conducto de aducción cuya traza la definían los túneles –algunos inconclusos– ejecutados en su día para el tendido del inacabado conducto Icod-Adeje.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS					
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	**La Vica**	**Masca**	**El Sauce**	**Los Roques**	**Los Quemados**
cota cabecera (m)	1.350	1300	1.275	925	1.025
cota en el tomadero (m)	475	475	475	470	470
Superficie (km2)	2,04	1,35	1,71	0,22	0,69
Perímetro (km)	7,02	4,68	5,48	1,72	3,72
Longitud (km)	2,34	1,78	1,92	0,70	1,54
Indice de pendiente	37,4	46,4	41,7	64,3	35,7
ANÁLISIS HIDROLÓGICO					
período de estudio	1971/72 – 1990/91				
hidrogramas	3, 6 y 9 horas				
umbrales de escorrentía	suelo muy húmedo 5, 7, **10, 15, 20**, 25 muy seco				
V de retención suelo (Dm3)	30	25	15	5	10
T de agotamiento (días)	7	21	3	1	2
Q escorrentía ribera (L/s)	3	1	0	0	0

Tabla 45. Características de las cuencas hidrográficas del Aprovechamiento Sur

XX.3.4.2. Los caudales base o de ribera

Algunos de los túneles del referido conducto Icod-Adeje han interceptado con su traza la superficie freática, disponiendo en su tramo central de agua alumbrada que circula por el piso hasta alcanzar sus respectivas bocas de salida. Los cauces del barranco de La Vica y del barranco de El Sauce eran y son los receptores del recurso, con un caudal continuo de 3 y 1 L/s respectivamente. El agua no estaba aprovechada por lo que se la incorporaría al aprovechamiento, participando en el análisis hidrológico como escorrentía de «ribera». No obstante, en el estudio se proponía que las obras de toma a ejecutar en los cauces se proyectaran y construyeran de modo que dejaran libre circulación a unos determinados caudales, que se denominaron «ecológicos», con el fin de mantener una corriente fija de agua.

XX.3.4.3. Estudio de aportaciones

Los primeros datos de salida del modelo se extrajeron en forma de calendarios de aportaciones **totales mensuales medias** generadas por el conjunto de aguaceros analizados (410) durante el período oct/1971 – sep/1991 en cada una de las cinco cuencas estudiadas:

LA VICA:	240.200 m³/año
MASCA:	122.900 m³/año
EL SAUCE :	151.100 m³/año
LOS ROQUES:	15.800 m³/año
LOS QUEMADOS:	46.900 m³/año
TOTAL:	**576.900** m³/año

De éstos, 482.292 m³/año serían aguas superficiales y 94.608 m³/año aguas subterráneas vertidas desde los túneles a los cauces de La Vica y El Sauce.

Con el fin de averiguar las aportaciones que se habrían derivado desde cada tomadero, se operó con diversas capacidades de aducción (entre 0.025 y 1.000 m³/s), obteniendo nuevos calendarios de aportaciones **derivadas mensuales y anuales medias** con las que se construyeron las cinco curvas del gráfico adjunto.

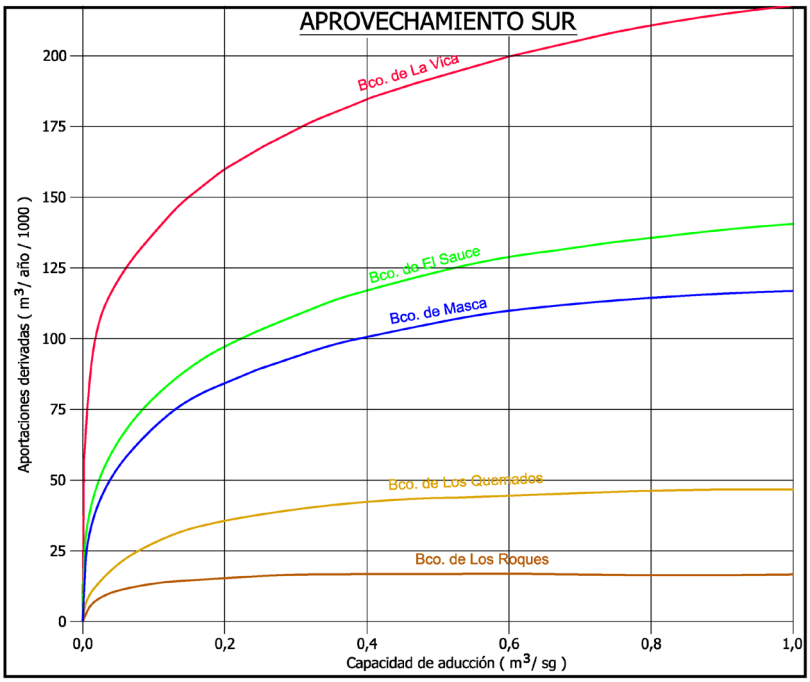


Figura 153. Aprovechamiento Sur: aportaciones a derivar desde cada tomadero

A partir de una cierta capacidad de aducción, en todas las curvas el rendimiento marginal (Δ del volumen derivado/Δ en la capacidad del conducto de aducción) deja de ser significativo; era pues dentro del intervalo inferior a esa capacidad donde debía establecerse el dimensionamiento óptimo del conducto de derivación desde cada cuenca. El conducto de transporte general adoptaría una estructura telescópica cuya capacidad en el tramo inicial sería la óptima deducida para la primera cuenca y en el último la suma de las óptimas de todas las cuenca.

XX.3.4.4. Optimización del aprovechamiento

El proyecto de explotación conjunta de las escorrentías debía tomar en consideración factores de construcción, de rentabilidad, ecológicos,… Se propusieron varias opciones de aprovechamiento con diferentes criterios de optimización:

Superior: Con un conducto que en su tramo final asumiría una capacidad conjunta de 1,525 m^3/s se derivarían 455.200 m^3/año de agua de escorrentía.

Media Alta (Práctica): La capacidad del conducto en su tramo inicial sería de 0,350 m^3/s y en el final de 1,075 m^3/s. El caudal derivado habría sido de 418.800 m^3/año.

Media Baja (Rentable): combinando los precios de tuberías con los del m^3 de agua se arbitró una alternativa intermedia. Con 0,600 m^3/s de capacidad podrían derivarse hasta 359.600 m^3/año.

Inferior: la mitad del volumen de agua de escorrentía generada en cada cuenca habría sido objeto de captación. La capacidad en el tramo final del conducto sería de 0,475 m^3/s con el que se derivarían 336.100 m^3/año de agua de escorrentía.

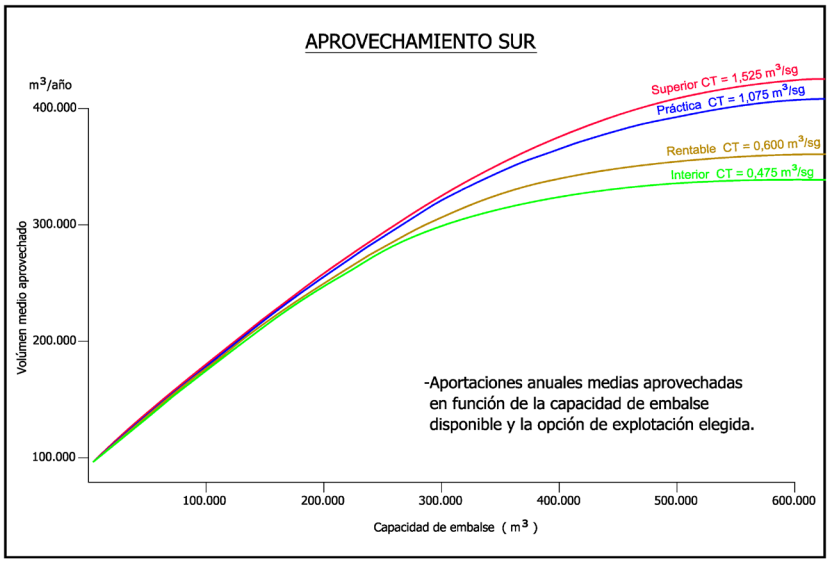


Figura 154**.** Aprovechamiento Sur: opciones de explotación.
(CT: Capacidad total en el tramo final del conducto)

Por otro lado, en el proyecto TEN-ADE estaba prevista la construcción de una balsa reguladora en Tamaimo (Santiago del Teide) de 100.000 m^3 de capacidad, para almacenamiento de las aguas de escorrentía superficial derivadas desde las cinco cuencas de Teno. En Lomo del Balo (Guía de Isora) estaba proyectada otra balsa para albergar 500.000 m^3 de agua –prioritariamente subterránea– no obstante, cabía la posibilidad de disponer de un cierto almacenaje para las superficiales. A fin de conocer el alcance real del aprovechamiento, las cuatro opciones de

explotación se sometieron a un nuevo análisis haciendo partícipe a la capacidad de almacenamiento. El rendimiento óptimo de la explotación exigía que la balsa Lomo del Balo tendría que compartir, el menos en invierno, parte de su almacenamiento, de manera que pudiera contarse con una capacidad de regulación (entre la balsa de Tamaimo y la de Lomo del Balo) para las aguas superficiales entre 300.000 y 400.000 m^3.

XX.3.4.5. Datos de explotación

Se propuso, finalmente, que el conducto de derivación adoptara las dimensiones de la opción **inferior**. Con una conducción de 0,475 m^3/s de capacidad se obtendría un aprovechamiento medio de unos **320.000** m^3/año; de estos, 225.000 m^3/año serían aguas de escorrentía superficial y el resto (95.000 m^3/año) aguas subterráneas no aprovechadas que manan en el interior de dos de los túneles.

Ninguna de las obras previstas para la explotación y aprovechamiento de las aguas superficiales se llegaron a ejecutar, por lo que no es posible contrastar las previsiones del estudio hidrológico con la realidad. Sí lo fueron –por el CIATF– la balsa de Lomo del Balo (2002) y la estación desmineralizadora de Tamaimo (2005).



Figura 155**.** Balsa de Lomo del Balo (535.392 m^3) y EDAS de Tamaimo (4.000 m^3/día)
A la izquierda de la balsa discurre el bco. de Guía en el que BALTEN estudia la posibilidad de captar aguas de escorrentía. A la izquierda de la EDAS la toma de los bajantes de las galerías de la zona y a la derecha el Canal Icod-Adeje. (Fuente: BALTEN)

XX.3.5. El aprovechamiento Norte

XX.3.5.1. Cuencas a explotar

El límite inferior de las tres cuencas hidrográficas a explotar también estaba prefijado con la traza del definitivamente abandonado canal Icod-Adeje, pues el conducto que transportaría las aguas captadas hasta la balsa de Montaña de Taco discurriría por el túnel, construido para dicho canal, que enlaza el valle de El Palmar en Buenavista norte con Los Carrizales en Buenavista sur.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Carrizal	La Mina	Aneas
cota cabecera (m)	1003	925	950
cota en el tomadero (m)	480	480	480
Superficie (km²)	0,95	0,09	0,61
Perímetro (km)	3,98	2,30	3,27
Longitud (km)	1,18	0,88	1,14
Índice de pendiente	44,75	51,14	41,67

Tabla 46. Características de las cuencas hidrográficas del Aprovechamiento Norte

XX.3.5.2. Los caudales base o de ribera

Desde que la obra del túnel entre El Palmar y Los Carrizales interceptó el acuífero que subyace en el interior del Macizo, circula por el barranco de El Carrizal un caudal de unos 6 L/s (≈180.000 m³/año) que, alumbrado en el interior del túnel, vierte sobre aquel por la boca de salida y es aprovechado en la zona.

XX.3.5.3. Esquema del aprovechamiento

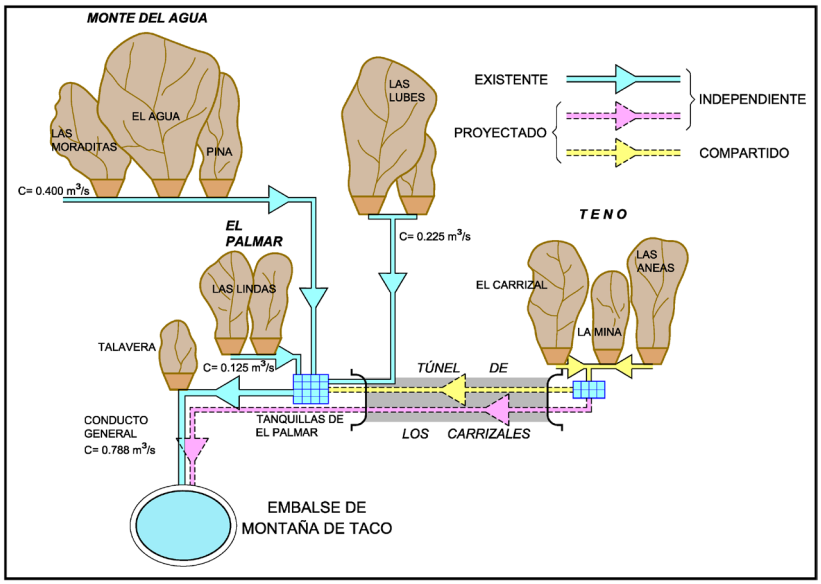


Figura 156. Esquema del Aprovechamiento Norte del Proyecto TEN-ADE

La explotación de las escorrentías de las tres cuencas, con vistas a su almacenamiento en la balsa de Montaña de Taco, tenía que ser compatible con el sistema hidráulico que operaba en aquellos momentos:

- Tres tomaderos interceptaban las escorrentías de otros tantos barrancos: El Agua, Pina y Moraditas en el Monte del Agua y las vierten al canal de Enlace que las conduce a las tanquillas de El Palmar o de Las Lindas.
- Otros cuatro: Las Lubes I y II y Las Lindas I y II recogían las escorrentías de otros tantos barrancos del valle de El Palmar. El agua se conducía mediante los correspondientes conductos hasta las tanquillas de El Palmar desde donde eran trasvasadas hasta la balsa por el conducto colector.
- Un nuevo tomadero: Talavera o Talaverita, interceptando las escorrentías de una pequeña barranquera se conecta con el conducto colector.

Estos eran pues los aportes con los que tendrían que competir los recursos superficiales captados en los barrancos de Teno para hacerse sitio en la balsa.

XX.3.5.4. Datos de explotación

Se plantearon dos opciones para el tendido del conducto de derivación de las aguas de escorrentía captadas en Teno: en la primera, distinguida como aprovechamiento «independiente», el conducto alcanzaría la balsa de Montaña de Taco; en la segunda finalizaría en las tanquillas de El Palmar o Las Lindas donde descargaría las aguas traídas desde Teno y a partir de este punto, compartirían el conducto colector general con las captadas en el Monte del Agua y en El Palmar.

Dado el escaso incremento de rendimiento –5.200 m^3/año– que suponía la opción de aprovechamiento «independiente» respecto de la del «compartido» se propuso la consideración de esta segunda en el proyecto general (TEN-ADE). Un conducto de **0,250** m^3/s de capacidad habría podido derivar hasta las tanquillas de Las Lindas un caudal conjunto de **123.000** m^3/año; caudal que habría supuesto un incremento medio en la disponibilidad de agua en la balsa de **51.600** m^3/año.

Es posible que las mismas razones que dieron lugar a desestimar el Aprovechamiento Sur dieran también al traste con el Aprovechamiento Norte. En cualquier caso, la competencia que desde la otra vertiente le harían las escorrentías captadas en las cuencas de El Palmar y el Monte del Agua reduciría las posibilidades de acceso a la balsa de las escorrentías captadas en Teno[15].

[15] La capacidad disponible para el almacenamiento de las aguas superficiales en la balsa de Montaña de Taco está limitada por el volumen que le ocupan las aguas subterráneas de galerías, excedentes en los meses de lluvias. Si, además, las aguas superficiales de Teno tienen que compartir en algún momento el conducto colector de acceso a la balsa con las de El Palmar y Monte del Agua, éstas siempre alcanzarían antes que aquéllas el conducto, debido a su menor recorrido. Sólo cuando sus respectivos hidrogramas estén en la fase de agotamiento, los caudales de unas y otras, reducidos, compartirían el conducto hasta la balsa.

XX.4. EL PLAN OPERATIVO DE LOS CAMPITOS

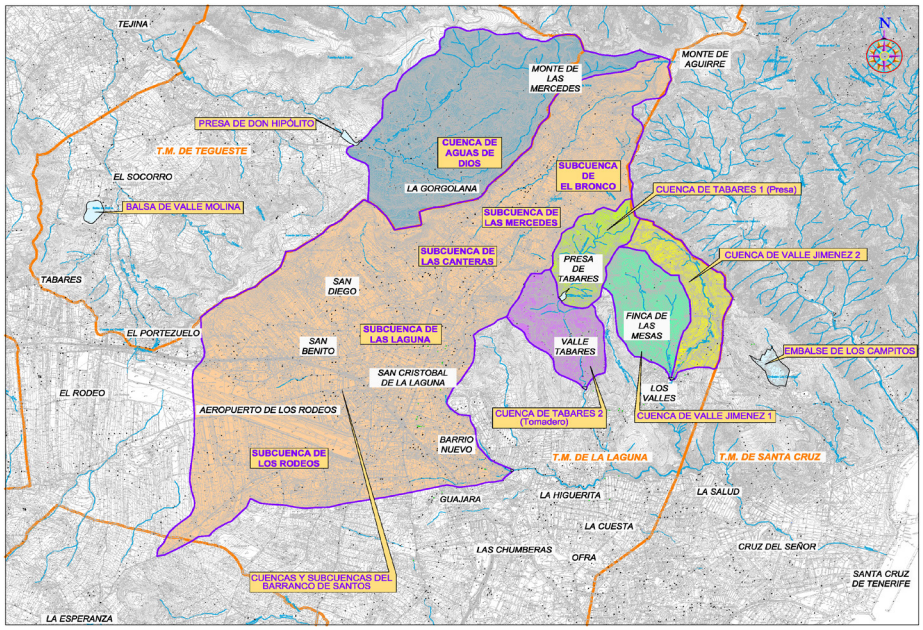


Figura 157. Cuencas hidrográficas analizadas en el Plan Operativo de Los Campitos.

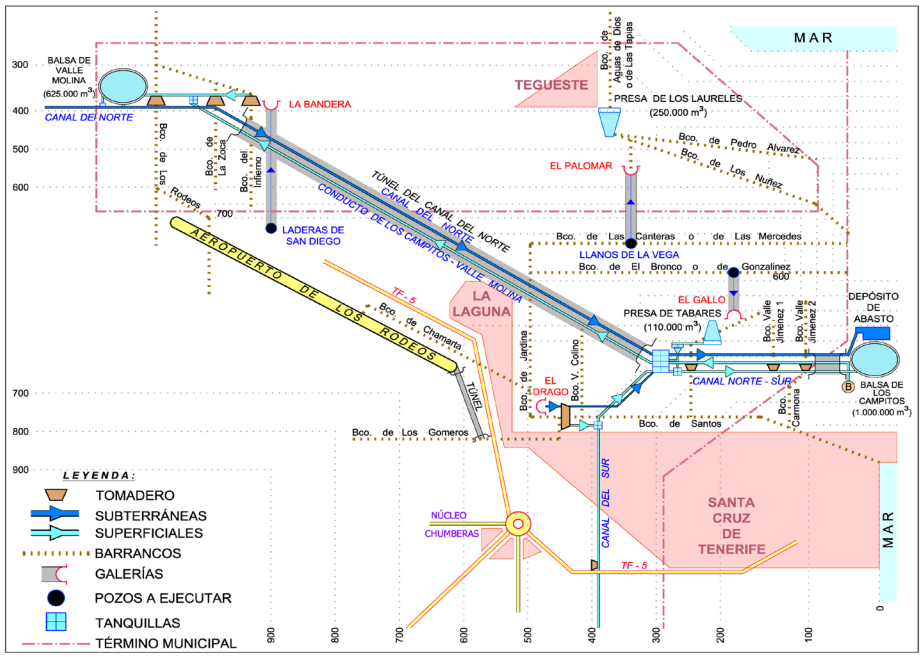


Figura 158. Esquema general de actuaciones del Plan Operativo de Los Campitos.

XX.4.1. Objetivos

Uno de los objetivos principales del Plan Operativo de Los Campitos (POC) era **la optimización del aprovechamiento de los recursos superficiales** en la sub-comarca Santa Cruz–La Laguna–Tegueste. En el estudio hidrológico se consideraron dos bloques de aprovechamiento:

1. El denominado Aprovechamiento Directo contemplaba la explotación de las escorrentías de varias cuencas hidrográficas, naturales y urbanas, cuyo trasvase hasta la presa de Los Campitos –previamente reconvertida en balsa– se llevaría a cabo usando infraestructuras existentes más algún nuevo conducto a ejecutar.
2. En el Aprovechamiento Indirecto se consideraba la posibilidad de incorporar al anterior determinadas infraestructuras de almacenamiento, ya en servicio, complementando las aportaciones de escorrentía de sus respectivas cuencas tributarias con las de otras cuencas vecinas.

XX.4.2. Aprovechamiento Directo

XX.4.2.1. Actuaciones proyectadas

El cometido original de la presa era el almacenamiento de los excedentes de aguas subterráneas en los meses de lluvia. Pasados los años, se reconsideró la posibilidad de abastecerla con aguas superficiales captadas y derivadas desde cuencas vecinas. Durante el otoño de 1989 se introdujeron en la presa parte de las aguas de escorrentía del barranco de Santos a través del canal del Sur, conectado con ella (Figura 158). La experiencia demostró la viabilidad del aprovechamiento siempre y cuando previamente se procediera a:

La **impermeabilización** del vaso de la presa de Los Campitos hasta una altura aproximada de 20 metros; limitando su capacidad útil a 1 hm^3.

La **reparación** del canal del Sur entre la autopista y el barranco de Santos.

Además varias infraestructuras de nueva construcción:

Un **tomadero** en el barranco de Santos, aguas arriba del ya existente.

Un **conducto de aducción** entre el nuevo tomadero y el canal del Sur, previa definición de la capacidad óptima mediante el consiguiente estudio hidrológico.

Tres **tomaderos** en las intersecciones de los cauces de los barrancos de Tabares y Valle Jiménez 1 y 2 con la traza del canal del Norte-Sur.

Las **obras de intercepción y captura** de las escorrentías generadas en los dos grandes viales que unen La Laguna con Santa Cruz

A partir de tales actuaciones podría acometerse:

1. La explotación de las escorrentías del barranco de Santos.

2. El aprovechamiento de las aguas superficiales circulantes por los barrancos de Tabares y Valle Jiménez 1 y 2, afluentes al barranco de Santos.
3. El aprovechamiento de los caudales de agua que circulan, después de las lluvias, por la plataforma de la autopista TF-5 y demás viales.

XX.4.2.2. Cuencas a explotar

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS					
CUENCAS	Santos	Tabares 1	Tabares 2	Jimenez 1	Jimenez 2
cota cabecera (m)	982	785	690	780	780
cota en el tomadero (m)	390	460	360	360	360
Superficie (km2)	22	0,98	1,30	1,45	1,28
Perímetro (km)	23	4,25	5,10	5.15	6,65
Longitud (km)	9	1,85	1,45	2.25	3,20
Pendiente media (%)	6,6	18	7	19	13
ANÁLISIS HIDROLÓGICO					
período de estudio	10/1950 – 09/1992				
T. Hidrogramas (h)	3, 6 y 9				
umbrales de escorrentía	5 ... 25	5, 12.5, 15, 20 y 27.5			
V retención suelo (Dm3)	500	20	5	12	15
T de agotamiento (días)	30	7	5	4	5
Q escorrentía ribera	0	0	0	0	0

Tabla 47**.** Características de las cuencas Tabares 1, Tabares 2 y Valle Jimenez 1 y 2

XX.4.2.3. El aprovechamiento de las escorrentía del barranco de Santos

El análisis de aportaciones tuvo en cuenta varias opciones de capacidad del conducto de aducción, así como distintas capacidades de almacenamiento.

Con la capacidad de almacenamiento acordada: 1 hm^3, un conducto de entre **1,5** y **2** m^3/s estaba muy cerca de obtener el máximo aprovechamiento: entre **685.000** y **720.000** m^3/año de agua embalsada (figura 159). No obstante, no podía obviarse que el resto de los aprovechamientos previstos reclamarían su cuota de embalse en la presa, caso de hacerse efectivos.

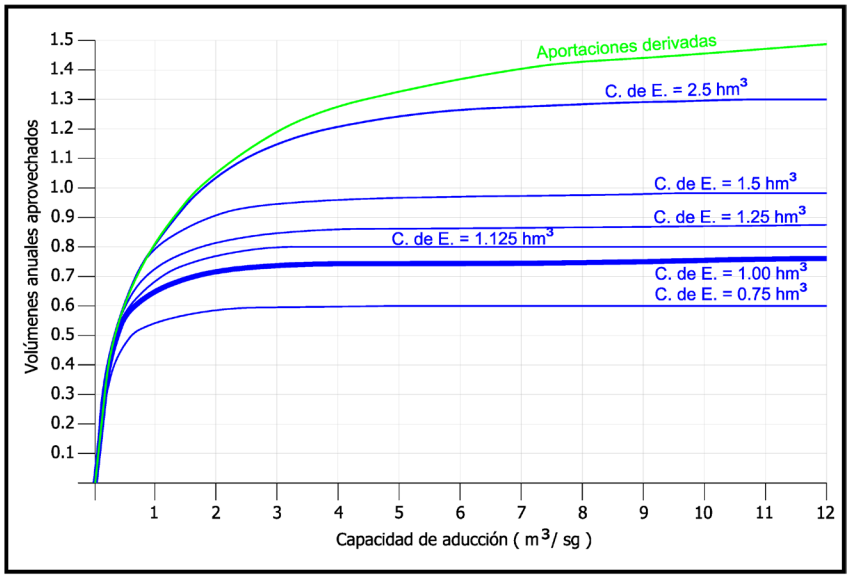
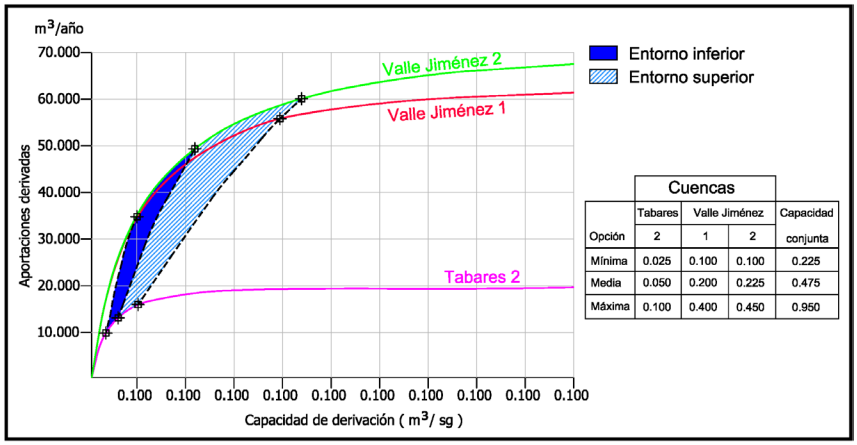


Figura 159**.** Aportaciones de escorrentía del barranco de Santos que podrían ser aprovechadas en el embalse de Los Campitos con distintas capacidades del conducto de derivación y de almacenamiento

XX.4.2.4. Las escorrentías de las cuencas de los Valles

El canal Norte-Sur se cruza con los barrancos de Tabares y Valle Jiménez 1 y 2 (Figuras 158 y 163). El agua que circula por ellos, aunque con caudales mucho menores que en el barranco Santos, apenas contiene arrastres de ningún tipo y, sobre todo, está exenta de contaminantes urbanos, pues son escasos los asentamientos de población en las márgenes.



	Cuencas			
	Tabares	Valle Jiménez		Capacidad
Opción	2	1	2	conjunta
Mínima	0.025	0.100	0.100	0.225
Media	0.050	0.200	0.225	0.475
Máxima	0.100	0.400	0.450	0.950

Figura 160**.** Aportaciones de escorrentía de los barrancos Tabares y Valle Jiménez 1 y 2 que podrían ser derivadas hasta el embalse de Los Campitos con distintas capacidades del conducto de aducción

El estudio conjunto de las tres cuencas vertientes se llevó en paralelo con la de barranco Santos asumiendo, en principio, sistemas de explotación independientes. Para el trasvase de las escorrentías de aquellas hasta el embalse de Los Campitos se proponía un conducto de estructura telescópica cuya capacidad en el tramo final fuera la suma de las óptimas en cada tomadero. El análisis conjunto de rendimientos marginales (Figura 160) nos llevó a seleccionar tres opciones de aprovechamiento: Mínima, Media y Máxima que darían lugar a tres posibles conductos de trasvase de estructura telescópica:

OPCIÓN	CUENCAS			Capacidad conjunta (m^3/s)	Volumen derivado (m^3)
	Tabares 2	Valle J. 1	Valle J. 2		
Mínima	0,025	0,100	0,100	**0,225**	85.000
Media	0,050	0,200	0,225	**0,475**	119.000
Máxima	0,100	0,400	0,450	**0,950**	144.000

Tabla 48**.** Capacidades del conducto de derivación de las escorrentías de las cuencas de Los Valles y volúmenes medios anuales que se habrían derivado durante el período 1950/51-1991/92

XX.4.3. Aprovechamientos Indirectos

XX.4.3.1. Descripción

En la subcomarca ya existían cuatro aprovechamientos de aguas superficiales; tres de ellos asociados a presas-embalses de titularidad privada: Los Laureles o de Don Hipólito, Tabares o Reverés y Tahodio y un cuarto gestionado por BALTEN en la balsa de Valle Molina; en los cuatro coincidía, por diferentes causas, un bajo rendimiento en la explotación del recurso. Estableciendo estrategias conjuntas de explotación podría lograrse la pretendida optimización del aprovechamiento de los recursos superficiales en la subcomarca: Santa Cruz–La Laguna–Tegueste.

Se trataba de intercomunicar infraestructuras hidráulicas así como cuencas hidrográficas. Con respeto al primer objetivo se planteaban tres conexiones:

1. La presa de Tahodio con la de Los Campitos mediante un conducto que, alimentado desde una estación de bombeo con las escorrentías recogidas en la primera, las trasvasara, a discreción, hasta la segunda.
2. La presa de Los Campitos con la balsa de Valle Molina a través de un conducto para cuyo tendido se haría uso del túnel del canal del Norte.
3. La presa de Tabares con el inicio del canal del Norte-Sur.

En este punto, coincidente con la boca de salida del túnel del canal del Norte, se establecería un núcleo de distribución de las aguas hasta allí trasvasadas.

En cuanto a las conexiones entre cuencas hidrográficas, siendo todas similares, no dejaban de tener su singularidad. También se proponían tres:

1. El trasvase del agua desde el cauce del barranco de Las Mercedes, en la Vega Lagunera, hasta el de Los Nuñez en Tegueste se llevaría a cabo mediante la perforación de un pozo en la galería El Palomar que, emboquillada en el cauce del segundo barranco, discurre bajo el cauce del primero.

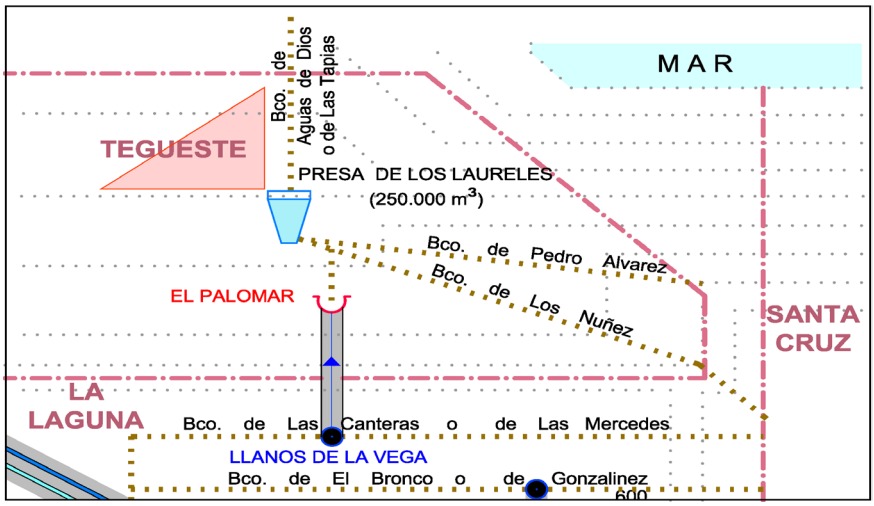


Figura 161. Conexión del barranco de Las Canteras con el de Las Tapias.

2. Para conectar las Laderas de San Diego en La Laguna con el barranco de El Infierno en Tegueste se usaría como medio de trasvase de las aguas de escorrentía la traza de otra galería abandonada: La Bandera.

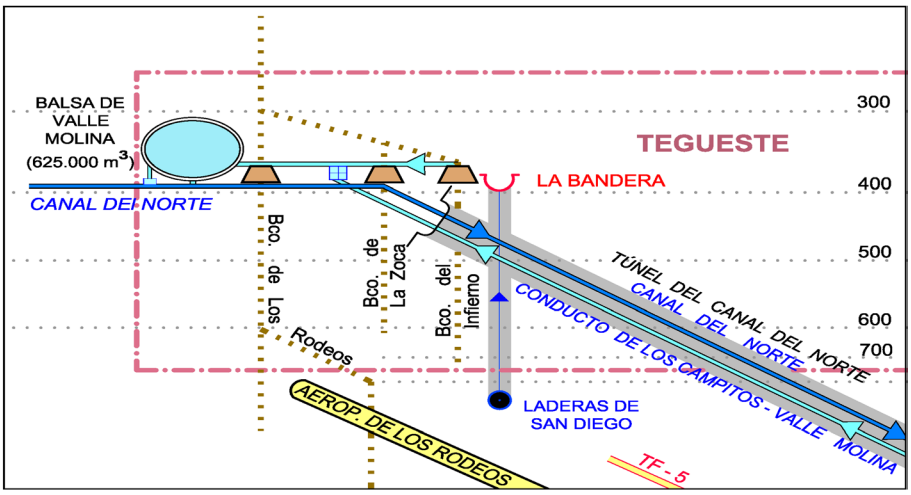


Figura 162. Conexión de las Laderas de San Diego con el bco. de El Infierno a través de la galería La Bandera y tomaderos en cabera de la balsa de Valle Molina.

3. Un tercer trasvase desde los barrancos de Las Mercedes y El Bronco en la Vega Lagunera hasta el barranco de Tabares en el valle del mismo nombre conllevaría la perforación de sendos pozos en la galería El Gallo.

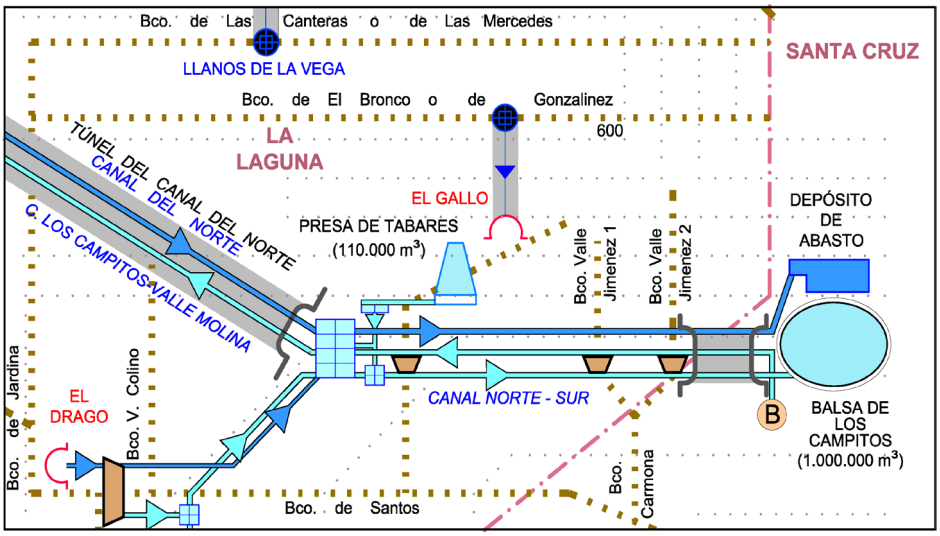


Figura 163**.** Conexión del bco. de El Bronco con el de Tabares a través de la galería El Gallo y tomaderos en bco. Santos y en los bcos. de Los Valles.

Con la primera operación se pretendía incrementar las aportaciones de aguas superficiales a la presa de Los Laureles. Con la segunda, la balsa de Valle Molina sería la beneficiaria de tales escorrentías complementarias. En el tercer caso, la presa de Tabares recogería los aportes que le fueran derivados desde los dos cauces principales de la Vega de La Laguna.

Las presas de Tahodio y de Tabares o Reverés, aunque seguían operativas, el agua que almacenaban no tenía destino pues las fincas de cultivo bajo su ámbito se habían transformado en suelos urbanos. Las conexiones con el embalse de Los Campitos y con el de Valle Molina facilitarían su puesta en uso en otra comarca.

XX.4.4. Datos de explotación

Extrapolando los resultados deducidos en el estudio hidrológico para el período 1950/51-1991/92 a los esperados en el futuro, el conjunto de aprovechamientos descritos habría puesto a disposición de la comarca Santa Cruz-La Laguna-Tegueste alrededor de **1.000.000** de metros cúbicos de aguas de escorrentía superficial al año; volumen anual éste en consonancia con las lluvias ocurridas en el período pero que habría que reconsiderar a la baja si se extrapolan al momento actual.

XX.5. EL PROYECTO TREVEJOS

XX.5.1. Objetivos

La comarca de Chasna se localiza en la mitad superior del vértice sur de la isla; por el este limita con el barranco de Orchilla y por el oeste con el de El Rey. El municipio de Vilaflor y las cabeceras de los de Arona y San Miguel forman parte de ella. Desde hace años viene manteniendo una intensa y creciente actividad agrícola que, cada vez más a menudo, tiene que afrontar el déficit en la oferta de agua de las galerías locales cuando las lluvias de invierno no son suficientemente abundantes.

Una de las propuestas del Plan Hidrológico Insular (PHI) era aumentar la disponibilidad hídrica en la zona mediante:

1. La explotación de las aguas de **escorrentía superficial** generadas en las cuencas hidrográficas localizadas en la cabecera del municipio de Vilaflor.
2. La regulación conjunta de las aportaciones superficiales captadas con las **subterráneas** locales y las importadas.

XX.5.2. Infraestructuras hidráulicas proyectadas

Tales objetivos comportaban la ejecución de varias infraestructuras:

Una **balsa** para el almacenamiento y regulación de los recursos.

Tomaderos en los cauces de los barrancos a explotar.

Conductos de derivación y transporte entre los tomaderos y la balsa.

Por otro lado, el conducto Tágara-Vilaflor, ya existente, permitiría traer parte del agua alumbrada en las galerías El Junquillo o Tágara y El Niágara en Guía de Isora y en la de La Canal en Adeje hasta las tanquillas de Los Cascajos, centro de distribución de agua en Vilaflor.

La capacidad de la balsa se había establecido en unos 300.000 m^3. Las cuencas a explotar, la capacidad de los tomaderos, la de los conductos de derivación y la del conducto colector habría que deducirlas del estudio hidrológico subsiguiente, con el que también se pretendía conocer el alcance cuantitativo del aprovechamiento.

XX.5.3. Cuencas a explotar

XX.5.3.1. Selección

Los suelos de la cuencas de cabecera que ocupan los altos de Vilaflor se caracterizan por la presencia de materiales fonolíticos de la Serie Cañadas que, estructurados en potentes coladas, descienden desde la cúpula del Edificio Cañadas hasta enterrarse bajo materiales de series más recientes. Hidrológicamente, los primeros son considerados de muy baja permeabilidad que, unido a las altas pendientes en que están dispuestas las coladas, facilita mucho más el escurrimiento de las aguas de lluvia que su incursión hacia el subsuelo. Por el contrario los materiales

bajo los que aquellos acaban enterrados –generalmente traquibasálticos– son muy permeables, por lo que la generación de aguas de escorrentías no se produce sino a partir de sucesos de lluvia intensos y copiosos; es especialmente significativo el fenómeno de *infiltración en cauces* en los barrancos que los atraviesan.

XX.5.3.2. Características hidrogelógicas



Figura 164**.** Cauces de los barrancos de El Cuervo y La Magdalena.
Lechos de roca fonolítica muy impermeables que, después de las lluvias, permiten el mantenimiento durante días de pequeños caudales de agua de escorrentía exenta de arrastres sólidos

La particular geomorfología de los cauces hacía presumir corrientes de agua con mucha más regularidad que en el resto de los cauces insulares, exceptuando los de Anaga y Teno. Fueron varias las ocasiones en las que después del suceso de aguaceros se constataba su capacidad para generar escorrentías; al igual que también se comprobaba como, una vez que abandonaban los tramos de cabecera, acababan desapareciendo bajo los materiales traquibasálticos del piso del cauce.

Inicialmente se seleccionaron seis posibles cuencas vertientes a otros tantos barrancos de los cuales el de La Vica haría de colector, dada su localización respecto del emplazamiento previsto para la balsa. Por la derecha recibiría las aguas de la de El Cuervo y por la izquierda las de El Chorrillo, La Magdalena y Las Corujas.

XX.5.3.3. Puntos de captación de las escorrentías

Para evitar pérdidas de caudal, los tomaderos habrían de situarse próximos a los contactos entre las fonolítas y los traquibasaltos; además, a cotas superiores a la de la futura balsa —materializada en Trevejos— y, a ser posible, cercanos a pistas forestales para facilitar su acceso y el tendido enterrado de los conductos de derivación.

XX.5.3.4. Características físicas de las cuencas a explotar

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	El Cuervo	El Chorrillo	La Magdalena	Las Corujas	La Vica Alta	La Vica Baja
cota cabecera (m)	2530	2150	2440	2275	2100	1600
cota	1750	1050	1825	1815	1600	1415
Superficie (km²)	2,84	0,20	0,96	0,47	0,67	0,55
Perímetro (km)	7,81	1,96	6,07	4,23	4,69	3,60
Longitud (km)	3,32	0,91	2,89	2,12	2,28	1,23
Indice de pendiente	0,48	1,10	0,46	0,47	0,47	0,39
ANÁLISIS HIDROLÓGICO						
período de estudio	10/1969 – 09/1997					
T. de hidrogramas (h)	1, 3, 6 y 9					
umbrales de escorrentía	5, 10, 15, 20 y 25					

Tabla 49**.** Características de las cuencas hidrográficas seleccionadas para el Proyecto Trevejos

XX.5.4. La balsa de Trevejos

Término municipal: Vilaflor **Año de ejecución**: 2002
Tipología: Materiales sueltos impermeabilizada con geomembrana
Volumen a máximo nivel de embalse (m³): 277.934
Cota máximo nivel de embalse (m): 1.317 **Altura de agua (m)**: 17,00



Figura 165**.** Balsa de Trevejo; en el borde derecho inferior el cauce del bco. de La Vica. (BALTEN)

La Balsa de Trevejos fue una vieja aspiración de los lugareños, convirtiéndose en una constante reivindicación de los "chasneros" para el riego de unas 350 ha, que el CIATF sacó adelante finalmente en la margen derecha del barranco de la Vica, a la cota 1.300 m. (BALTEN)

XX.5.5. Esquema del Aprovechamiento

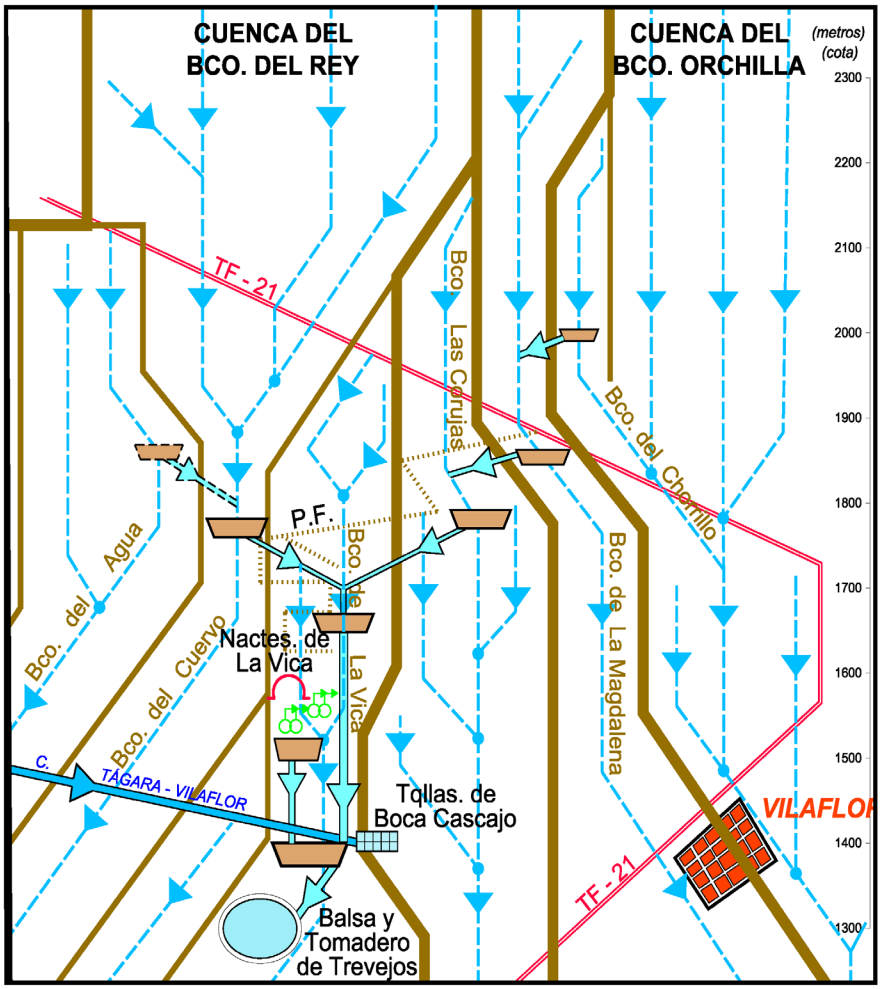


Figura 166**.** Esquema general de actuaciones del Proyecto Trevejos.

XX.5.6. Escorrentía de ribera

Después de las lluvias, en el barranco de La Vica surge espontáneamente un considerable flujo de agua cuyo caudal inicial puede alcanzar hasta 500 L/s, manteniéndose la corriente en el cauce más de dos semanas. Aguas arriba del tomadero general se ejecutaría un tomadero auxiliar para recoger estas escorrentías de «ribera».

XX.5.7. Análisis del Aprovechamiento

XX.5.7.1. Aportaciones totales

EL CHORRILLO:	41.100
LA MAGDALENA:	143.700
LAS CORUJAS:	69.400
EL CUERVO:	210.600
LA VICA (ALTA):	77.300
LA VICA (BAJA):	42.400
T O T A L (m^3/año)	584.500

Tabla 50. Aprovechamiento Trevejos: aportaciones medias en los tomaderos.

XX.5.7.2. Capacidades óptimas de derivación y aportaciones derivadas

En el modelo matemático creado al efecto se introdujeron diversos valores de capacidad a fin de averiguar la capacidad óptima de derivación desde cada tomadero.

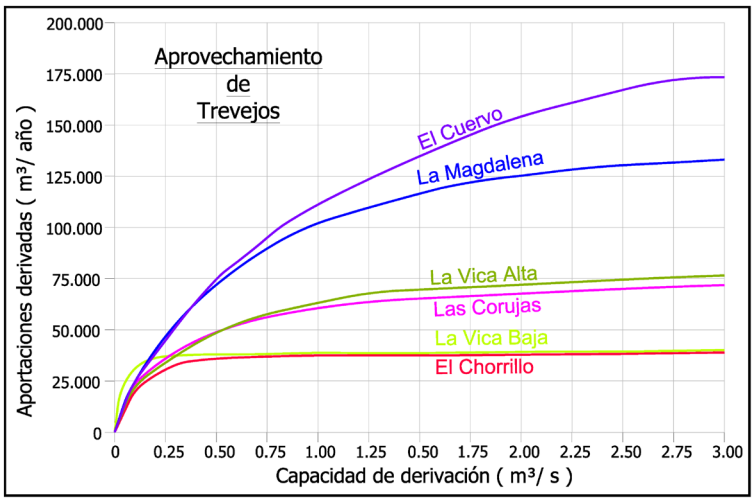


Figura 167. Aprovechamiento Trevejos: Aportaciones que podrían haber sido derivadas desde cada tomadero con distintas capacidades del conducto de transporte durante el período 1969/70-1996/97

EL CHORRILLO:	0,200 - 0,300	28,3 – 32,9
LA MAGDALENA:	0,500 - 0,750	37,1 – 39,1
LAS CORUJAS:	0,300 - 0,500	38,4 – 49,1
EL CUERVO:	0,750 - 1,000	94,9 – 112
LA VICA (ALTA):	0,300 - 0,500	37,6 – 49,3
LA VICA (BAJA):	0,030 - 0,075	22,9 – 27,5

Tabla 51. Capacidades óptimas de derivación (m^3/s) y volúmenes medios trasvasados (m^3/1000/año)

XX.5.7.3. Explotación conjunta

La explotación conjunta de las seis cuencas se haría con un conducto de estructura «telescópica»», que asumiría la capacidad óptima de derivación de cada tomadero y además las deducidas en los tomaderos precedentes. Se confeccionaron cuatro opciones de explotación conjunta en base a criterios de optimización diferentes:

1. **Superior:** el tramo final del conducto de transporte que uniría el tomadero de La Vica Baja con el embalse tendría una capacidad cercana a los 3,00 m^3/s, por medio del cual se trasvasarían hasta la balsa 322.400 m^3/año.
2. **Media Alta:** la capacidad del tramo final del conducto general sería de 2,05 m^3/s. El volumen medio derivado habría sido de 266.200 m^3/año.
3. **Media Baja**: un conducto con capacidad de transporte de 1,05 m^3/s de capacidad derivaría hasta la balsa 179.000 m^3/año de aguas de escorrentía.
4. **Inferior**: con una capacidad conjunta de 0,53 m^3/s se estarían derivando 116.600 m^3/año.

XX.5.7.4. Aportaciones aprovechadas

Dada la atemporalidad de las aguas de escorrentía superficial respecto de las demandas de consumo, el aprovechamiento dependería de la capacidad de almacenamiento disponible –las aguas superficiales compartirían estancia con aguas subterráneas– en la futura balsa, cuya capacidad se estimaba en 275.000 m^3.

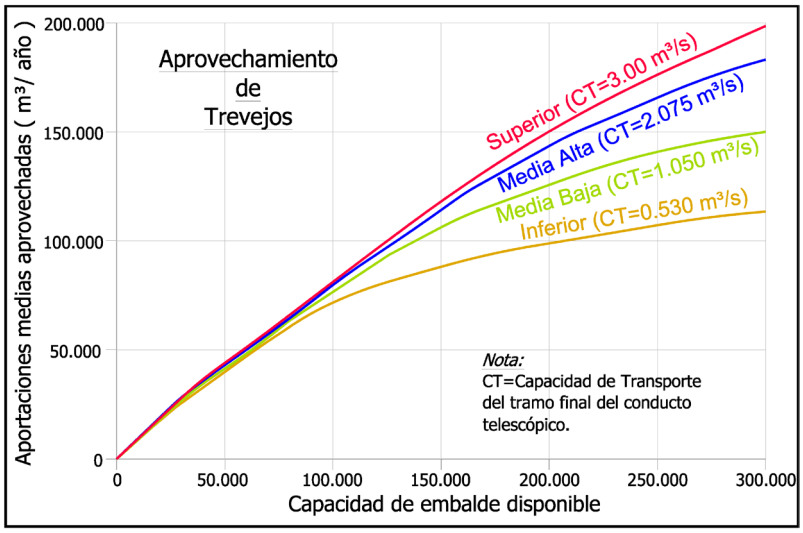


Figura 168. Aportaciones de escorrentía de las cuencas de Vilaflor que podrían ser aprovechadas en el embalse de Trevejos con distintas capacidades del conducto de derivación y de almacenamiento

Las cuatro opciones de explotación se combinaron con diversas capacidades de almacenamiento disponible, estimando que el vaciado del embalse se iniciaba en el mes de junio. Con la capacidad de embalse que se tenía prevista (275.000 m³) la opción de explotación y aprovechamiento que se estimó más racional fue la intermedia a la Media Alta y la Media Baja.

CUENCA	CAPACIDADES (m³/s)	
	de derivación	de transporte
EL CHORRILLO:	0,080	0,080
LA MAGDALENA:	0,350	0,430
LAS CORUJAS:	0,250	0,680
EL CUERVO:	0,500	
LA VICA (ALTA):	0,250	1,430
LA VICA (BAJA):	0,050	1,480

Tabla 52. Aprovechamiento Trevejos: esquema óptimo de explotación de las escorrentías.

La aportación media derivada y almacenada en la balsa habría sido de unos **165.000** m³/año. En 9 años de los 27 del período analizado la balsa se habría llenado y en otros 9 se habría almacenado menos de la tercera parte de su capacidad.

XX.5.8. Datos de explotación

Tan sólo se ejecutaron dos tomaderos: el de La Vica Baja y el de los nacientes de La Vica, aguas arriba de aquel. Las aguas de escorrentía superficial que ha recibido la balsa han sido las del barranco de La Vica. La aportación media que habría llegado el tomadero durante el período de estudio (10/1969-09/1997) habría sido de 110.000 m³/año, de los cuales unos **75.000** m³/año alcanzarían la balsa a través del conducto que le une con el tomadero, cuya capacidad es de 1 m³/s. Pues bien, de los datos de explotación de estos 10 últimos años se deduce que el almacenamiento medio de aguas superficiales en la balsa ha sido de unos 54.600 m³/año.

APORTES DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL A LA BALSA DE TREVEJOS											
año	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**MEDIA**
m³/1000	141	115	4	21	131	7	15	17	0	95	**55**

Tabla 53. Aportaciones de agua de escorrentía derivadas a la balsa de Trevejos entre 2009 y 2018

CAPÍTULO XXI
EXPECTATIVAS DE NUEVOS APROVECHAMIENTOS

XXI.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos del Plan Hidrológico de Tenerife respecto de las aguas superficiales contempla *promover el aprovechamiento de las aguas superficiales hasta el límite de su viabilidad técnico-económica.*

XXI.1.1. El agua que se «pierde» en el mar

Con los sucesos de temporales de lluvia de carácter extraordinario –muy habituales en las últimas décadas– la tendencia general de la población es creer que se pierden en el mar grandes cantidades de agua de escorrentía que podrían aprovecharse si se contara con suficientes infraestructuras de captación y almacenamiento.

De los algo más de **20** hm³/año que alcanzan la costa, la mitad lo hace a través de los barrancos de Anaga (Norte y Sur); casi la cuarta parte por los del Macizo de Teno y la otra cuarta parte por los del resto de costa.

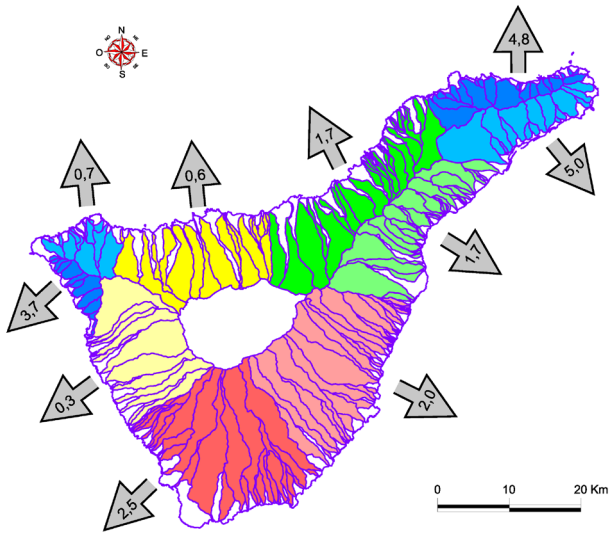


Figura 169. Descarga media de escorrentía superficial al mar (hm³/año) (1944/45-2014/15)

En los últimos años el aprovechamiento real medio de las aguas superficiales ha sido de **1,5** hm³/año. A propósito del posible incremento de esta cifra nos remitimos a las consideraciones que se hacían al respecto en el documento:

«NOTAS SOBRE LAS AGUAS SUPERFICIALES….»:

Supóngase que se cerraran con muros de presas todos los cauces del norte de la isla a la altura de la cota 500…, imagínese que en cada uno de los

antedichos cauces se constituye de este modo un embalse perfectamente proporcionado para funcionar con un rendimiento de ½; pues bien, con todos ellos se aprovecharía anualmente un volumen de agua equivalente a una lámina de 22 mm de espesor extendida sobre toda la superficie –unos 400 km²- de la cuenca que vertería sobre tales embalses. Y ello supondría un caudal de unos 8,8 Hm³/año. Sin embargo, para llegar a este aprovechamiento sería menester construir embalses hasta alcanzar una capacidad conjunta de algo más de 17 Hm³. Tales cifras ilustran perfectamente hasta qué punto es ilusorio esperar un incremento substancial de las disponibilidades hidráulicas de Tenerife a base de aprovechar intensamente las aguas superficiales de la isla[16].

XXI.1.2. Opciones de aprovechamiento de aguas superficiales

Desde luego, en ningún momento se ha propuesto un aprovechamiento intensivo de este recurso; en los tres «macroproyectos» descritos en el capítulo anterior, la explotación de las aguas superficiales se planteaba como un complemento a la disponibilidad de agua subterránea en aquellas zonas donde se presumía que la oferta hídrica estaba amenazada. Al final, en ninguno de los tres llegaron a ejecutarse la totalidad de las obras proyectadas. Además, todavía caben proyectos aislados que harían crecer el techo actual de la oferta de este recurso en la isla, al menos, en algunos centenares de miles metros cúbicos al año.

En determinados enclaves, localizados a cotas altas, en los que la disponibilidad de agua para riego la sostienen las aportaciones de las galerías del entorno, los caudales de éstas están acusando, a la baja, el descenso generalizado del techo del multiacuífero insular. En algún caso, además, es complicado importar agua desde otras zonas. Cualquier nuevo aporte hídrico sería bien recibido; dadas las dificultades que entraña llevar hasta esas cotas el agua de mar desalada, la escorrentía superficial podría contribuir a paliar esos déficits; sobre todo si se cuenta con cierta capacidad de almacenamiento para regular unos aportes no siempre garantizados. Esta es la situación, en concreto, de la zona que se extiende entre Fasnia y Adeje por encima de la cota de 1.500 m donde podrían habilitarse algunas explotaciones de agua de escorrentía superficial.

El crédito que nos ha ofrecido el contraste entre las aportaciones reales derivadas desde el tomadero de La Vica a la balsa de Trevejos y las deducidas en el MHSup es extrapolable a otras experiencias similares, por lo que nos serviremos de dicha herramienta para valorar cuantitativamente cada opción. Antes averiguaremos qué expectativas de reactivación tienen en la actualidad las propuestas de los tres inconclusos proyectos: TEN-ADE, LOS CAMPITOS y TREVEJOS.

[16] A. Hoyos-Limón, L. O. Puga y J. J. Braojos

XXI.2. LAS PROPUESTAS DEL PROYECTO TEN-ADE

En el Proyecto TEN-ADE se contemplaba la explotación de las escorrentías de hasta ocho barrancos de la vertiente sur del Macizo de Teno. De los **3,9** hm^3/año que vierten al mar se proponía derivar 0,3 hm^3/año hacia la comarca de Tamaimo-Isora-Adeje (Aprovechamiento Sur) y 0,1 hm^3/año hacia la de la Isla Baja (Aprovechamiento Norte).

XXI.2.1. El Aprovechamiento Sur

No se llegó a ejecutar ninguna infraestructura directamente relacionada con la explotación de las aguas superficiales: una balsa en Tamaimo de 100.000 m^3 de capacidad y cinco tomaderos. A las razones que llevaron en su día a tomar tal decisión, ahora habría que añadir el notable incremento de la oferta hídrica que experimenta la zona desde hace años. A las desaladoras de agua de mar de Arona-Adeje y de La Caleta en Adeje se le ha unido, en el año 2017, la de Fonsalía en Guía de Isora. Además las aguas residuales depuradas van a extender su zona de ámbito hasta la costa de Santiago del Teide poniendo aguas, cada vez de mejor calidad, al servicio de la agricultura y de los campos de golf.

La situación en la comarca, dos décadas y media después del Proyecto TEN-ADE, ha cambiado sustancialmente por lo que, de momento, no parece tener justificación la, en su día proyectada, extracción de escorrentías del Macizo de Teno.

XXI.2.2. El Aprovechamiento Norte

Este aprovechamiento se promovió con la intención de incrementar las aportaciones de agua superficial a la balsa de Montaña de Taco en los años menos lluviosos. Hemos hecho el ejercicio de comprobar las consecuencias que supuestamente se habrían derivado de esta operación de trasvase durante los **20** años del período analizado: 1971/72-1990/91. Estimando una capacidad disponible de 400.000 m^3 en las balsas de Montaña de Taco y de Ravelo para almacenar las aportaciones de agua superficial, habría ocurrido que:

- Con la incorporación de las escorrentías de las cuencas de Teno los 400.000 m^3 disponibles para el agua superficial se habrían cubierto en **8** ocasiones
- El incremento de disponibilidad de agua en la balsa con la participación de las cuencas de Teno en el sistema habría sido de unos **51.600** m^3/año

Un detallado análisis de regulación teniendo en cuenta superficies de cultivo y necesidades de riego ofrecería sin duda cifras todavía más positivas que las reseñadas. Además, en el interior del túnel que une El Palmar con Los Carrizales se alumbra un caudal continuo de unos 6 L/s parcialmente aprovechado.

XXI.3. LAS PROPUESTAS DEL PROYECTO DE LOS CAMPITOS

XXI.3.1. Introducción

Una de las operaciones previstas en el POC era la captación y derivación de las aguas de escorrentía superficial circulantes por los barrancos de Los Valles: Tabares (bajo) y Valle Jiménez 1 y 2 hasta la presa de Los Campitos, una vez reconvertida ésta en una balsa. A fin de comprobar la viabilidad del proyecto unos años antes se tendió, en paralelo al canal del Norte-Sur, ocupado por aguas destinadas al abasto de Santa Cruz, una tubería de 600 mm de diámetro de poliéster reforzado con fibra de vidrio, que debería suplir el cometido del canal para que éste, una vez liberado de dicha función, pudiera transportar las escorrentías hasta la presa. La tubería estuvo en uso sólo unos meses. Este conducto, al que hemos denominado tubería de Los Valles, fue pues una de las pocas infraestructuras previstas en el Proyecto que llegaron a ejecutarse. En la actualidad no está en uso; sin embargo, existe la posibilidad de recuperarlo para beneficio del complejo hidráulico que gestiona BALTEN en la comarca de Valle Guerra.

XXI.3.2. Nueva propuesta de aprovechamiento

Una nueva opción de explotación sería recoger las escorrentías en la tubería de Los Valles y llevarlas hasta el centro de distribución de Tabares en la salida del túnel del canal del Norte, desde donde se reconducirían hasta la balsa de Valle Molina.

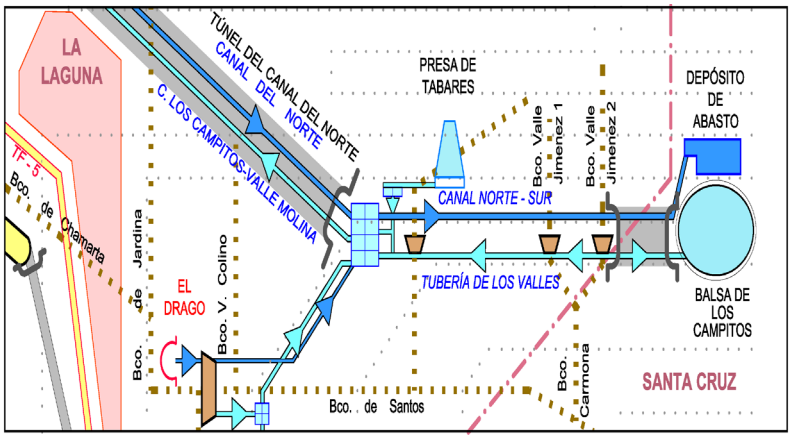


Figura 170. Aprovechamiento de las escorrentías de los bcos. de Los Valles en la balsa Valle Molina

Del estudio hidrológico de las cuencas de Los Valles se deducía una aportación conjunta media aprovechada de 120.000 m^3/año. Las obras a ejecutar serían:

- Tres tomaderos a emplazar en los cruces de los cauces con la tubería.
- La conexión de la tubería, en el centro de distribución de Tabares, con los conductos que llegan a la balsa de Valle Molina.

XXI.4. LAS PROPUESTAS DEL PROYECTO TREVEJOS

XXI.4.1. Antecedentes

De los tres «macroproyectos» de aprovechamiento de aguas superficiales que se redactaron en la década de los años noventa del pasado siglo, al cabo del tiempo se ha venido a confirmar que el de Trevejos es el que cuenta con más y mejores argumentos para que se le tenga de nuevo en consideración.

Recordemos que se proponía la explotación de hasta cinco cuencas hidrográficas mediante la construcción de otros tantos tomaderos en cada uno de los cauces de sus barrancos principales. La ubicación de estas obras de toma habría de establecerse en las inmediaciones del contacto de los mantos de roca fonolítica que ocupan las cabeceras de cuenca con las coladas traquibasálticas que se extienden por debajo. Dado el distanciamiento entre los lugares de captación y la balsa de Trevejos se proponía la ejecución de un tomadero colector en el barranco de La Vica al que le llegarían las aguas captadas en los restantes a través de un conducto de estructura telescópica en los tramos entre tomaderos (Figura 166).

Sólo se ejecutó el «colector»; en el año 2004 el Consejo Insular de Aguas, como obra incluida en las de la balsa de Trevejos, concluyó el tomadero que recoge la Figura nº 171, que consistía en un pequeño azud de hormigón –presa de gravedad con perfil Creager de aliviadero de 4 m de altura– situado a la cota de 1.400 m, que alberga un vaso con capacidad de 500 m^3 y desde el que parte la conducción de transporte –fundición dúctil Ø 500mm– capaz para un caudal de 1 m^3/s hasta el citado embalse.

La propia experiencia adquirida durante la construcción y la que por parte de BALTEN se había acumulado en los 20 años de gestión de otras infraestructuras similares en el norte de la isla, propició una segunda actuación que comprendió una serie de obras complementarias –concluidas en 2007– tales como un segundo dique aguas arriba para la contención del gran volumen de acarreos que llevan consigo las grandes avenidas (Figura 172) y aguas arriba de éste un pequeño tomadero auxiliar para la captación de las escorrentías de «ribera» que brotan en el mencionado barranco de La Vica después de las lluvias y que se mantienen durante períodos que llegan y pueden superar la semana (Figura 173).

El conjunto de obras que forman parte del tomadero puede considerarse como un verdadero catálogo, en cuanto a la tipología, de una obra de captación y derivación de aguas superficiales –tomadero– a aplicar en los cauces de la isla de Tenerife.



Figura 171. Tomadero de Trevejos o de La Vica Baja (Fuente: BALTEN)

La pantalla de toma vertical mediante ventanas de rejas y la impermeabilización con hormigón del vaso afluente a aquéllas resulta ser una solución ampliamente contrastada para los tomaderos de aguas superficiales. Desde el compartimento de toma parte la conducción de aducción a la balsa de Trevejos con una longitud de 1.350 m (FDC Ø 500mm).



Figura 172. Dique intermedio de contención de acarreos en el barranco de La Vica Baja (BALTEN)

Construido mediante gaviones escalonados, vemos en el inferior a la tubería que une la "cogedera" superior con el tomadero principal. Desde aquí el fondo del cauce se ha hormigonado en forma de cunetón.



Figura 173. Tomadero superior –en el argot «*cogedera*»– en el barranco de La Vica Baja (Fuentes: CIATF y BALTEN)

Este tomadero, unido al principal mediante tubería (PE/AG Ø 200mm) capta las escorrentías de «ribera» más las circulantes por el barranco, hasta el límite de la capacidad del conducto, a partir del que discurren cauce abajo. Temporales como el de diciembre de 2009 (foto inferior izquierda) llegan a colmatar totalmente el pequeño vaso (fotos derecha) al que, cuando el tiempo lo permite, se le hace un primer desatasco de la pantalla de toma y una posterior limpieza manual que puede llevar más de una semana de cuadrilla.

XXI.4.2. El Aprovechamiento actual

A lo largo de los últimos años la balsa de Trevejos ha recibido aguas de escorrentía en las cantidades que ya hemos reseñado en el último apartado del capítulo precedente pero que queremos volver a ofrecer en este –en años hidrológicos– para su contraste con las cifras que aporta el MHSup respecto de este aprovechamiento.

Realmente se trata de comparar «órdenes de magnitud» pues varios factores dificultan que unos y otros –reales y deducidos– lleguen a coincidir exactamente. Uno de estos factores es el acceso compartido de las aguas superficiales con las subterráneas importadas o con los excedentes invernales de las galerías locales. Por otro lado, en el MHSup el cálculo de las aportaciones derivadas desde un tomadero se hace operando con hidrogramas de lluvia **diaria** a los que se secciona con la capacidad del conducto de aducción, para diferenciar el agua captada de la que sigue discurriendo barranco abajo[17].

Tomadero	**Cd**	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	**MEDIA**
Aportaciones (m^3/1000) **que llegaron a la balsa de Trevejos**									
La Vica Baja	1,0	**165**[1]	**40**	**0**	**21**	**70**	**7**	**15**	**46**
Aportaciones (m^3/1000) **deducidas del MHSup a la balsa de Trevejos**									
La Vica Baja	1,0	225	102	0	1	14	0	12	**50**

Tabla 54**.** Contraste entre aportaciones y las deducidas en el MHSup en la balsa de Trevejos.

En la tabla adjunta, las cifras de la primera fila se corresponden con los volúmenes anuales reales de agua de escorrentía que, procedentes del barranco de La Vica, se captaron en el actual tomadero de La Vica Baja y se derivaron hasta la balsa de Trevejos por el conducto de aducción existente de 1,00 m^3/s de capacidad, entre 2009/10 y 2015/16. Los de la segunda fila se han deducido en el MHSup.

Tal como se presumía existen ciertas diferencias entre los valores anuales, achacables a las circunstancias apuntadas, pero que se diluyen si lo que se confronta es el rendimiento medio anual: 46.000 m^3/año (aportación **real**) frente a 50.000 m^3/año (aportación deducida en el MHSup).

XXI.4.3. Nuevas opciones de aprovechamiento

Las circunstancias actuales señalan más conveniente el aprovechamiento individual en cada una de las cinco cuencas hidrográficas seleccionadas que el aprovechamiento conjunto que se propugnaba en el Proyecto TREVEJOS. Así acaba de proyectarse uno de ellos, en concreto el relativo a la explotación de las escorrentías del barranco de La Magdalena, y así se propone para otros. Todos se comentan a continuación.

XXI.5. EL APROVECHAMIENTO DE LAS ESCORRENTÍAS DEL BARRANCO DE LA MAGDALENA

XXI.5.1. El proyecto de la balsa de Lomo Chabeña

Para definir las infraestructuras contempladas en el Complejo Hidráulico Lomo de Chabeña –definido en el Plan Hidrológico de Tenerife (PHT)– el Consejo

[17] En los estudios hidrológicos de detalle la lluvia diaria se divide en subaguaceros de distintas horas de duración entre los que, además, caben intervalos de tiempo sin lluvia.

Insular de Aguas contrató los servicios de apoyo parcial en la redacción del proyecto constructivo «*Balsa de Lomo de Chabeña y canalizaciones asociadas (T.M. de Vilaflor)*»[18].

Se han proyectado cinco actuaciones principales:

- La captación de parte de las aguas superficiales que discurren por el barranco de La Magdalena
- La ejecución de una balsa de 21.000 m³ de capacidad y 8,20 m de altura de agua localizada a la cota de 1.411 m.
- La rehabilitación de la conducción de agua de Tágara - Vilaflor.
- La derivación hasta la balsa de las aguas subterráneas excedentes en las galerías de Vilaflor
- La ejecución de una red de distribución de riego principal y secundaria.

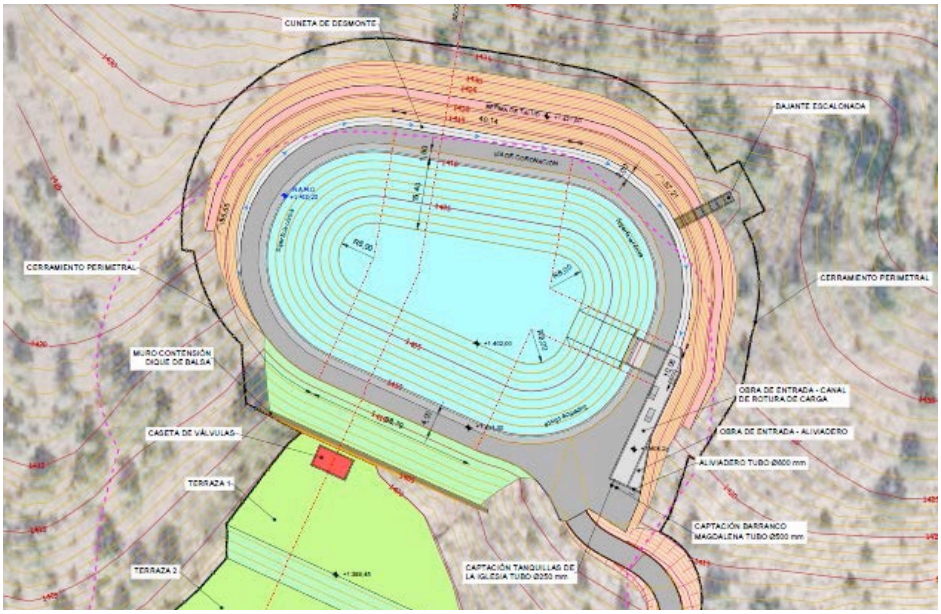


Figura 174. Balsa de Lomo Chabeña en proyecto. (CIVILPORT)

Con la primera actuación se habilitaría otro de los aprovechamiento (bco. de La Magdalena) de los cinco propuestos en el Proyecto TREVEJOS; incluso cabría un tercero, el de las escorrentías del barranco de El Chorrillo. En paralelo a la tercera actuación podrían aprovecharse también las de otros dos: El Agua y El Cuervo.

[18] Proyecto: Balsa de Lomo de Chabeña y canalizaciones asociadas (T.M. de Vilaflor) – Alejandro Barreda y Anatael Meneses – CIVILPORT - 2017

XXI.5.2. Descripción del aprovechamiento

XXI.5.2.1. En la balsa de Chabeña

Se ha proyectado la ejecución de un tomadero justo aguas arriba del cruce de la carretera TF-21 con el barranco de la Magdalena sobre la cota 1.850 m. Además, la cuneta de la citada carretera se prolongaría hasta el tomadero para recoger el agua de las cascadas que vierten sobre la vía. Tales aportes se conducirían hasta la balsa de Lomo de Chabeña mediante tubería de fundición dúctil de 3.416 m. de longitud.



Figura 175. Emplazamiento del tomadero del bco. La Magdalena y cuneta a derivar (CIVILPORT)

XXI.5.2.2. En la balsa de Trevejos

Durante aquellos episodios de lluvia en los que la balsa de Lomo de Chabeña no pueda almacenar toda el agua proveniente del tomadero proyectado, los aportes excedentes se derivarían hacia la balsa de Trevejos.

Desde la caseta de válvulas de la balsa de Lomo de Chabeña partiría una conducción de fundición dúctil de 300 mm diámetro que se conectaría con la de distribución principal de la balsa de Trevejos, permitiendo así el trasvase de agua desde la primera a la segunda.

XXI.6. LAS ESCORRENTÍAS DEL BARRANCO EL CHORRILLO

XXI.6.1. Descripción del aprovechamiento

El barranco de El Chorrillo discurre al este del barranco de La Magdalena a una distancia, medida en las proximidades del tomadero proyectado, de unos 200 metros. Su cuenca vertiente a esa altura no deriva una gran superficie pero sus características geomorfológicas, similares a las de la del barranco vecino, le permiten generar aguas de escorrentía, aunque no en la cuantía de este último, sí con la misma regularidad. Bastaría con la ejecución de un pequeño tomadero, de bastante menor envergadura que el previsto para el barranco de La Magdalena, y de un conducto de unos 200 metros de longitud –enterrado– que uniría el tomadero con el cauce de este barranco.

Las aguas de escorrentía derivadas desde el barranco de El Chorrillo hasta el de La Magdalena discurrirían cauce abajo hasta el tomadero en proyecto; desde donde partirían, mezcladas con las captadas en este último barranco, hasta la balsa de Chabeña; tal como se representa en la figura adjunta.

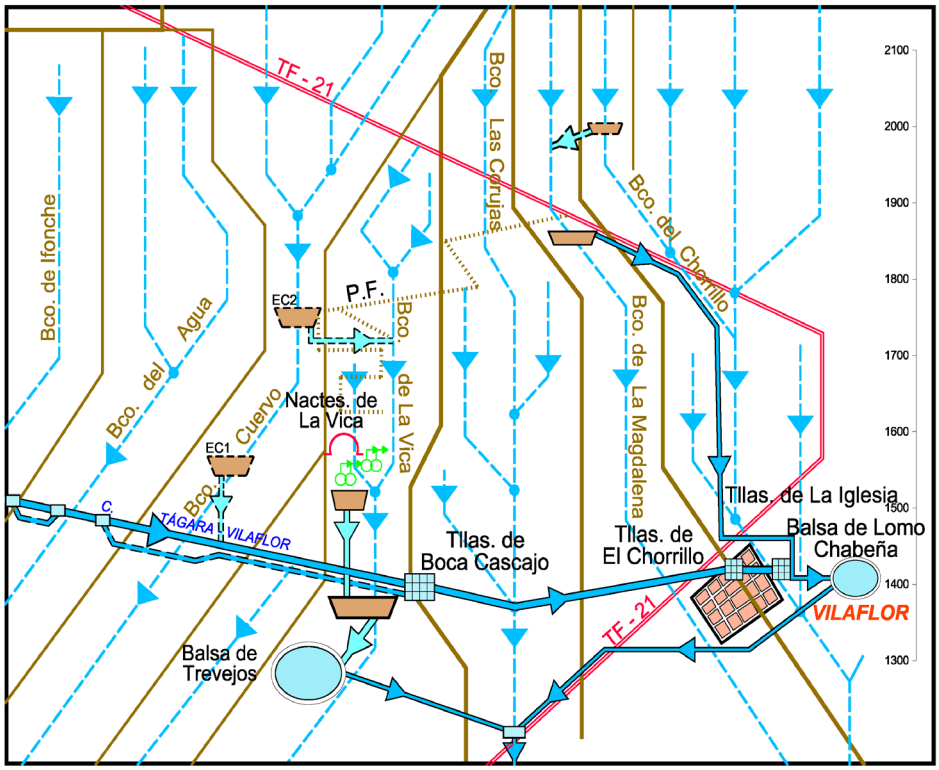


Figura 176. Actuaciones del Proyecto Balsa Chabeña y otras «propuestas».

XXI.7. LAS ESCORRENTÍAS DEL BARRANCO EL CUERVO

De los aprovechamientos propuestos en el Proyecto TREVEJOS el concerniente al barranco de El Cuervo era el más productivo: durante el período 10/1969-09/1996 se habría derivado hasta la balsa de Trevejos un volumen anual medio de 100.000 m^3 de agua con un conducto de 0,75 m^3/s de capacidad.



Figura 177**.** Barranco de El Cuervo discurriendo entre rocas fonolíticas.
La roca «lavada» en el cauce denuncia que las corrientes de agua de escorrentía son habituales

XXI.7.1. Descripción del aprovechamiento

XXI.7.1.1. A través del conducto Tágara-Vilaflor

En el proyecto de la «*Balsa de Chabeña y canalizaciones asociadas*» se contempla también la rehabilitación de la conducción Tágara-Vilaflor mediante:

1. La remodelación de los sifones en los barrancos de Troya I y II y del Agua

2. Un nuevo trazado del conducto entre el cruce de la conducción con el camino del Llano de Arañaga y las Tanquillas Boca Cascajo.

Una vez que se ponga este nuevo trazado en servicio, el tramo original del conducto Tágara-Vilaflor, entre el barranco de El Cuervo y las tanquillas de Boca Cascajo no tendrá cometido alguno; sin embargo, podría asignársele uno nuevo: el trasvase de las escorrentías del barranco de El Cuervo hasta las tanquillas de Boca Cascajo, directamente conectadas con la balsa de Trevejos. La obra de mayor en-

vergadura sería el tomadero, cuya estructura y dimensiones deben ser compatibles con el caudal de captación y derivación que se pretenda.

El aprovechamiento, no obstante, no sería el óptimo pues por encima del posible emplazamiento del tomadero, más de kilómetro y medio de cauce, discurre entre materiales permeables que absorben parte de las aguas y reducen la frecuencia de paso de las avenidas (Figura 176-tomadero EC1). Inconvenientes que pueden eludirse instalando el tomadero justo por encima de la galería La Unión o El Cuervo, lugar donde contactan los mantos de fonolita —impermeables— con los traquibasaltos, permeables (Figura 176-tomaderoEC2). Lógicamente habría que tender un conducto de unión entre el tomadero y la conducción Tágara-Vilaflor de unos 1.500 metros cauce abajo.

XXI.7.1.2. Trasvase hasta el barranco de La Vica

Una segunda alternativa que obviaría las mencionadas pérdidas por infiltración en el cauce, consistiría en trasvasar las escorrentías del barranco de El Cuervo hasta el cauce del barranco de La Vica. Ambos barrancos discurren por ese entorno separados no más de 400 metros; espacio que ocupa una pista en zig-zag que permite el acceso hasta y entre ambos barrancos. Un tomadero a ejecutar en el cauce del barranco de El Cuervo por encima de la galería La Unión y un conducto enterrado hasta el cauce del barranco de La Vica permitiría llevar las escorrentías de aquél hasta el tomadero de la balsa de Trevejos; y desde este hasta la balsa.

CAPÍTULO XXII
LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL NO APROVECHADAS

XXII.1. INTRODUCCIÓN

La juventud de los materiales que, en general, conforman la isla la caracteriza hidrogeológicamente de permeable e incluso de muy permeable. Ahora bien, la excepción a tal calificativo serían los enclaves de Anaga y Teno así como a la corona de cumbres de la comarca de Chasna, pues es en éstos donde cabe la explotación del recurso; circunstancia ésta debida, por un lado, a la baja permeabilidad de la roca que aflora en superficie, que permite la generación de aguas de escorrentía, y por otro, a las condiciones favorables actuales o de hace tiempo, según casos, para hacer efectivo el aprovechamiento de dichas aguas. No obstante, además de dichos enclaves, existen otros que también rompen la «regla general» y, sin embargo, no se les tiene presentes a causa de la incertidumbre de la posible puesta en uso de las aguas de escorrentía que, efectivamente, discurren por sus cauces.

En la extensa zona del sur que media entre la comarca de Agache y la de Isora pueden establecerse en altura —simplificando conceptos— tres grandes franjas con características hidrogeológicas –en este caso de permeabilidad– distintas:

- La **superior** se correspondería con la corona de cumbres, prolongada hacia el este hasta mediado el municipio de Arico. Las rocas constituyentes principales de la cabecera de las cuencas hidrográficas de esta zona son «ignimbritas/fonolitas» cuya textura puede calificarse de impermeable.
- En la franja **inferior**, entre la costa y la carretera general del sur, se localizan varias cuencas en las que la «tosca» y los «aglomerados pumíticos» que afloran en buena parte de su superficie, junto con algún núcleo de «basaltos antiguos», les confieren también el calificativo de impermeables.



Figura 178**.** Escorrentías en los bcos de Guasiegre, Los Moriscos y Vijigua en Arico

- Entre ambas, la **intermedia** es la de mayor extensión. Dominada fundamentalmente por los traquibasaltos de la serie III sus suelos permeables absorben, no solamente el agua de lluvia que reciben directamente, sino gran parte de la de escorrentía que le llega desde la zona superior.

La explotación de las aguas de escorrentía que discurren por los cauces de la franja superior se limita, por el momento, a las del barranco de La Vica; además, el proyectado aprovechamiento de las del barranco de La Magdalena. En la mitad occidental de la franja inferior, un grupo de pequeñas presas interceptan, desde hace decenas de años, parte de las escorrentías locales.

XXII.2. CUENCAS HIDROLÓGICAS NO EXPLOTADAS

En los costados orientales de ambas franjas –localizados dentro del municipio de Arico–, superior e inferior, no existe aprovechamiento alguno.

Si bien las condiciones geomorfológicas de ambos costados orientales facilitan la generación de aguas de escorrentía, su hipotético aprovechamiento se enfrenta a dos importantes inconvenientes:

1. La escasez e irregularidad de las lluvias.

Así como en Teno y Anaga raro es el año en el que no han «corrido» los barrancos, en estas cuencas de medianía del sur pueden pasar más de un par de años con los cauces en seco.

2. La ejecución de las infraestructuras necesarias para su aprovechamiento.

En este caso es la franja superior en la que existen más obstáculos para la construcción de vías de acceso, tomaderos y sobre todo de conductos de derivación de las aguas captadas hasta los embalses elegidos para su almacenamiento.

Sucede que este enclave es uno de los señalados como deficitario de agua para riego; y además, imposibilitado de importar agua desde otras zonas. Comentábamos, al respecto, que cualquier nuevo aporte hídrico sería bien recibido. No nos resistimos pues a hacer desde estas páginas una nueva propuesta de aprovechamiento.

XXII.3. LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA EN LAS CUENCAS DE CABECERA DE ARICO

XXII.3.1. Características de las cuencas susceptibles de explotar

En la figura 64 (Apartado X.3) se representa un esquema de las características geomorfológicas de la cuenca del barranco de Tamadaya en Arico. Aquí se muestran los de las del barranco de Los Caballos y de Icor, también en Arico. En las cuencas vertientes a los cauces de cabecera de los tres (en el de Icor los cauces de la margen derecha) coincide la misma roca de cobertera que en las cuencas de los barrancos de Vilaflor: fonolitas de baja permeabilidad

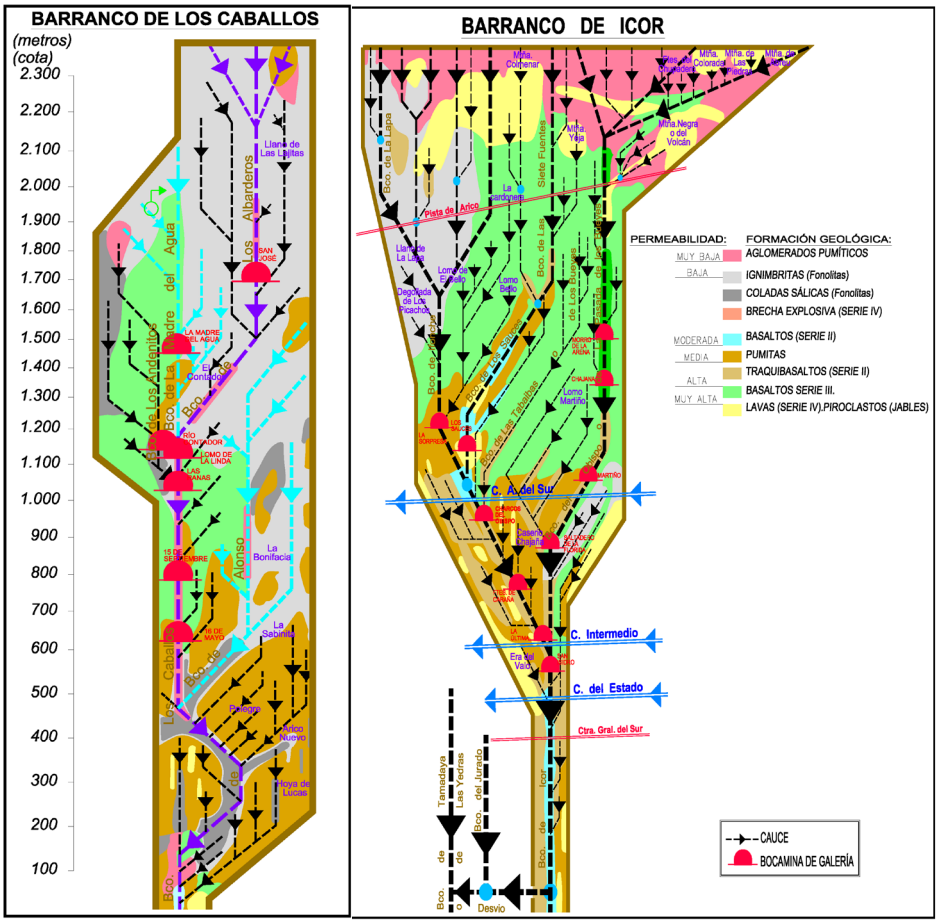


Figura 179. Esquemas de las cuencas vertientes a los barrancos de Los Caballos y de Icor (Arico).

XXII.3.2. Propuesta de aprovechamientos

Al igual que con los aprovechamientos de Vilaflor, se trataría de captar las aguas superficiales que eventualmente discurren por algunos barrancos de Arico mediante la ejecución de tres tomaderos, según se esquematiza en la Figura 180:

- En el barranco de **Los Caballos** a la cota de 1.170 m, en la confluencia de los barrancos de La Madre del Agua y de Los Albarderos.
- En el barranco **Las Yedras** a la cota 1.420 m, en la confluencia del barranco del Chinquejo con el de Las Yedras.
- En el barranco de **Ifonce**, afluente al barranco de Icor, a la cota 1520 m.

Desde el tomadero localizado a mayor cota en el referido barranco de Ifonce se derivaría el agua, mediante un conducto, de unos 700 metros de longitud, hasta el

cauce del barranco de Las Yedras donde las recogería el segundo tomadero; desde éste y por medio de un nuevo conducto de aproximadamente 1.300 metros de longitud se trasvasarían las aguas recibidas más las captadas del propio barranco hasta el tercer tomadero (bco. de Los Caballos). El destino final del agua sería la balsa de COPABONA que gestiona BALTEN en la zona de medianías de Arico.

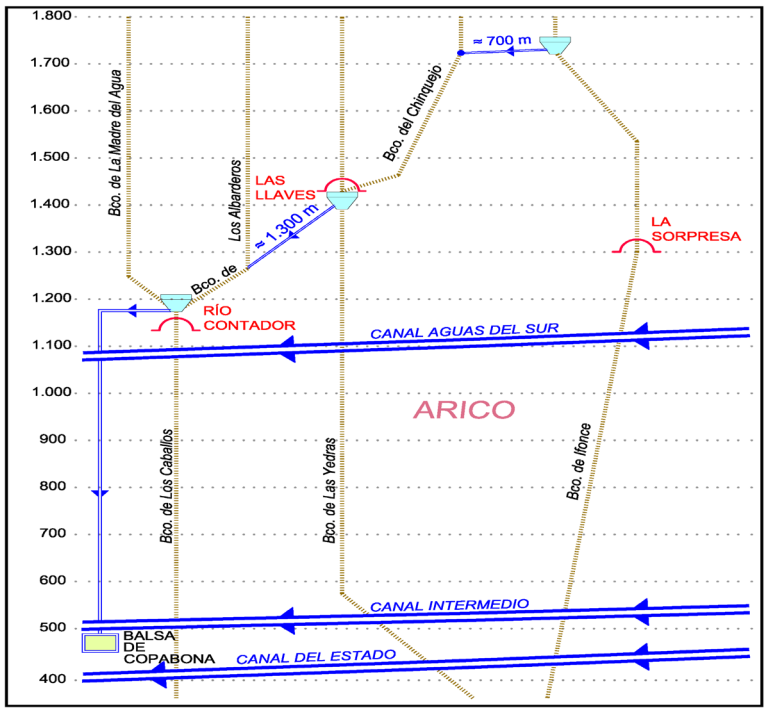


Figura 180**.** Esquema del posible aprovechamiento de las escorrentías en tres barrancos de Arico

XXII.4. LA CONEXIÓN ISORA-AGACHE

Desde hace tres cuartos de siglo, la mayor parte de las aguas subterráneas alumbradas en galerías de la comarca Fasnia-Arico se vienen exportando hasta la costa del vértice sur de la isla a través de tres canales generales de transporte: Aguas del Sur, Intermedio Norte-Sur y El Estado, que distribuyen el agua para consumo de riego y urbano-turístico. En el sentido contrario, a una cota más alta, el conducto Tágara-Vilaflor transporta parte del agua de la galería con mayor caudal alumbrado en el sur de la isla: Tágara o El Junquillo en Guía de Isora. El conducto finaliza en Vilaflor, aunque un par de ramales llevan el agua a Arona y a Granadilla.

La franja de territorio por encima de la cota 750 m.s.n.m. no dispone de más agua que la aportada por las galerías locales con unos caudales en franco descenso.

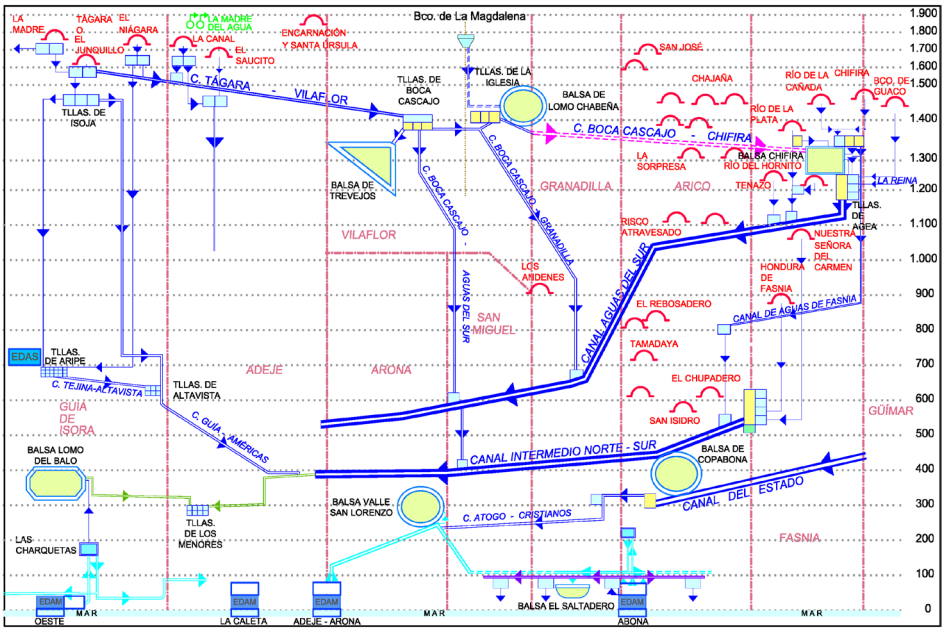


Figura 181. Arterias principales de transporte de agua en el sur de la isla y un posible nuevo conducto: Boca Cascajo-Chifira

En estos momentos, la comarca Guía-Adeje, con el agua proporcionada por las plantas desaladoras de agua de mar, con las residuales regeneradas en las estaciones de tratamiento y con las alumbradas en pozos y galerías, se ha convertido en el núcleo de mayor producción de agua de toda la vertiente meridional. Esta situación parece tener vocación de mantenerse en el tiempo y no es impensable que puedan incorporarse al mencionado conducto aguas alumbradas en otras galerías localizadas por encima de su traza teniendo, como parece, un destino asegurado.

La prolongación del conducto Tágara-Vilaflor hasta la balsa de Chifira en Fasnia permitiría:

- Ampliar la zona de oferta para las aguas subterráneas alumbradas en las galerías altas de Guía de Isora y Adeje
- El aprovechamiento de las aguas de escorrentía superficial de las cuencas de los cauces de cabecera que discurren por terrenos de Vilaflor y Arico.
- La explotación conjunta y coordinada de los tres sistemas de riego que gestiona BALTEN en esa amplia zona: TREVEJOS en Vilaflor, COPABONA en Arico y CHIFIRA en Fasnia.
- Garantizar la disponibilidad de agua en un territorio que tiene amenazada la oferta del recurso por la disminución paulatina de la producción local.

XXII.5. EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA DE LAS CUENCAS URBANAS

Hemos dejado para el final la posibilidad de captar para su aprovechamiento aguas de escorrentía urbana; como así lo ha hecho BALTEN en uno de sus Sistemas.

XXII.5.1. Las aguas de escorrentía del núcleo urbano de La Cruz Santa



Figura 182. Tomadero de El Colegio y balsa de La Cruz Santa en Los Realejos (BALTEN)



Figura 183. Rejilla en vial; toma en cuneta y tanquilla receptora de las escorrentías del casco urbano del núcleo de La Cruz Santa así como las vías de comunicación que lo atraviesan

Los bajos valores del umbral de escorrentía de los suelos urbanos así como las altas pendientes de los viales y de determinadas vías de comunicación dan lugar a corrientes de escorrentía con relativa regularidad pues no necesitan de precipitaciones altas para su formación. Quizás quepa todavía algún aprovechamiento similar.

B L O Q U E 5º

EL MODELO MATEMÁTICO «LLUVIA – INFILTRACIÓN» PARA LA SIMULACIÓN DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL EN LA ISLA DE TENERIFE

CAPÍTULO XXIII
EL MHSUP. INTRODUCCIÓN

XXIII.1. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL MHSUP

XXIII.1.1. Antecedentes

Con la redacción del Plan Hidrológico Insular (PHI, 1989-1993) se tomó conciencia de que para la evaluación, control y gestión de los recursos hídricos de Tenerife era trascendental conocer la cantidad y la distribución territorial del agua de Recarga que alimenta el multiacuífero insular, cuya explotación por pozos y galerías proporcionaba, por aquellas fechas, más del 90% de la oferta hídrica en la isla.

La heterogeneidad de las precipitaciones y sobre todo las acusadas diferencias, de unos lugares a otros, de las distintas coberteras (vegetal, edáfica y de usos del suelo) así como la peculiar geomorfología insular hacían presumir una distribución, también muy heterogénea, de la Infiltración; la cual, para mayor complejidad, no se corresponde en su totalidad con la Recarga, pues una buena porción del agua de lluvia que se infiltra es retenida en la capa más superficial del terreno como consumo de la vegetación.

Por otro lado, a finales de los años ochenta del siglo pasado, dentro de los trabajos del Avance del Plan Hidrológico Insular, se trabajaba en un nuevo[1] modelo matemático de simulación del funcionamiento del sistema acuífero insular: el denominado Modelo de Flujo Subterráneo[2] (MFS). La entrada principal a dicho sistema acuífero y a su vez, lógicamente, al MFS es la Recarga del agua lluvia directa o convencional y de la indirecta u horizontal. Hasta aquellas fechas, esta variable hidrológica, la Recarga, se había venido deduciendo, de forma global y no muy certera, a partir de la resolución del Balance Hídrico Insular (BHI). Era necesario aproximar su alcance, tanto cuantitativo como de distribución territorial, así como la variación de ambas magnitudes a lo largo del tiempo; al menos desde donde alcanzara la información empírica disponible al respecto[3].

Por aquel entonces, quien suscribe junto con Luis O. Puga Miguel, veníamos colaborando con los Avances de los Planes Hidrológicos Insulares de las cuatro islas occidentales en la construcción de los BHI de cada una de ellas. En los de El Hierro y Tenerife se adoptó la metodología tradicional, ya usada en estudios precedentes, entre ellos el que formó parte del Proyecto Canarias SPA-15. El valor obtenido para la Infiltración en ambos BHI no parecía ser consecuente con el que parecía dedu-

---

[1] Los primeros trabajos de modelización del flujo subterráneo en Tenerife se llevaron a cabo en 1980 con la realización del Proyecto MAC-21.

[2] Se trataba de un modelo en diferencias finitas con cinco capas y con anisotropía de la permeabilidad en las tres dimensiones. La isla se discretizó mediante una malla de más de 2.100 celdas de 1kmx1km. Con posterioridad a 1991 se han realizado nuevas revisiones.

[3] A mediados de los años cuarenta el Centro Meteorológico Zonal de Tenerife del Instituto de Meteorología Nacional estableció en la isla la Red Oficial de Control Meteorológico.

cirse de la extracción de agua subterránea en algunas cuencas[4] representativas de ambas islas. Era preciso revisar dicha metodología.

Hasta aquellas fechas, la evaluación de los recursos hídricos en varias cuencas peninsulares se había llevado a cabo mediante modelos matemáticos agregados[5]. Para la definición del BHI en La Palma y La Gomera y la redefinición del de Tenerife se propuso a los Directores de los PHI aplicar un procedimiento similar, pero complementado con una cierta distribución espacial respecto de algunos parámetros y variables. A pesar de tales innovaciones, los resultados carecían aún de representatividad, debido también a ciertas limitaciones en la información de base[6] disponible en aquel momento.

Se llegó a la conclusión de que la cuantificación local y en el tiempo de la Infiltración Efectiva o Recarga sólo podía conseguirse, racionalmente, mediante la construcción de un modelo matemático capaz de simular la hidrología de superficie evaluando las distintas variables climáticas e hidrológicas, en cada lugar del territorio y en los lapsos temporales que se establecieran al efecto; en definitiva: un modelo matemático «distribuido» LLUVIA-INFILTRACIÓN que contemplara la variabilidad espacial y temporal de todas las variables, parámetros y datos que, en general, están relacionados con el ciclo hidrológico.

XXIII.1.2. Primera Versión del MHSup

Nada más iniciada la década de los años noventa, a propuesta de la Dirección del Plan Hidrológico Insular de Tenerife (PHI), quien suscribe acometió la tarea de desarrollar -mediante los algoritmos precisos- un proceso de cálculo que cumplimentara tales requerimientos; proceso que -una vez transcrito al lenguaje informático por la empresa INCLAM- dio lugar a la primera versión del Modelo Distribuido de Simulación de la Hidrología Superficial en la isla de Tenerife (MHSup). Para la modelización matemática del sistema, se discretizó la isla en una malla formada por 2188 celdas de 1000m • 1000m relacionadas entre sí en función del camino que sigue el flujo de las aguas superficiales.

En esta primera versión, el modelo ya incorporaba parámetros y formas de operar ajenas en los modelos continentales pero imprescindibles en el análisis de la hidrología insular:

- Con el fin de afinar con los términos evaporante y transpirante se hace el cálculo de ambos por separado adoptando como lapso temporal el día en el balance en el suelo (BAS).

---

[4] Entre ellas, la que explotaba el pozo de Los Padrones en El Hierro; la del barranco Godinez en Valle de La Orotava en Tenerife o la estructura COEBRA en La Palma.

[5] La todavía insuficiente capacidad de cálculo de los ordenadores y el uso limitado de los SIG, no permitían abordar con profundidad el análisis de la hidrología distribuida.

[6] La no consideración de la lluvia horizontal, la reducida información edafológica, ...

- A partir de datos empíricos y una exhaustiva labor de campo se construye un nuevo mapa de *umbrales de escorrentía* (Po).
- Se crea el parámetro *umbral de infiltración en cauces* (Io) con el fin de evaluar las pérdidas por infiltración que se generan sobre éstos.

XXIII.1.3. Segunda Versión del MHSup

Una vez operativa la herramienta, se intuyó que podían existir desvíos en los valores de la Evapotranspiración Real (ETR) debidos a la escasa disponibilidad de datos edafológicos, pues sólo se contaba con los que aportaban una decena de estaciones bioclimáticas repartidas por todo el Archipiélago. Para subsanar tal carencia, desde el CIATF se encargó, al Departamento de Edafología y Geología de la ULL, la Cartografía Edáfica de la isla de Tenerife que ofreciera, entre otros, información relativa a la Tasa de Infiltración Básica y a la Capacidad Máxima de Retención de Agua, elemento decisivo éste para establecer el balance del agua en el suelo.

Por otro lado, las dimensiones de las celdas (1000m • 1000m) de la malla eran demasiado grandes cuando se pretendía reflejar en ellas, con el detalle preciso, determinadas características del manto superficial que cubre la isla; tales como: la densa red de drenaje natural (una misma celda la compartían varios barrancos distintos), la gran diversidad geomorfológica y edafológica. Además, la definición cuantitativa y de distribución territorial de la Lluvia Horizontal o Precipitación de Agua de Niebla (PAN) –estimada aún de forma indirecta–, necesitaba de unos compartimentos con menores dimensiones que los 1000 • 1000 metros de las celdas de la retícula original[7].

Estas y otras razones invitaron a adaptar el modelo a una retícula de 200m • 200m, en la que fue la segunda versión (V2) del MHSup.

XXIII.1.4. Tercera Versión del MHSup

Al no participar en el procedimiento de forma directa la Lluvia Horizontal (PAN), así como la aplicación de la fórmula de Thornthwaite para la evaluación de la evapotranspiración potencial (ETP), suscitaron los consiguientes reparos al respecto; y ello, a pesar de haber advertido que los valores obtenidos con la mencionada fórmula habían sido objeto de los pertinentes ajustes.

En cuanto a la PAN, ante la imposibilidad material de contar con medidas de sus aportes, se construyó un **submodelo matemático de simulación** que, implementado en el MHsup, permite su evaluación, tanto en términos cuantitativos como de distribución espacial. Su incorporación al procedimiento dio lugar a la tercera versión (V3) del MHSup que además tuvo como novedades[8]:

---

[7] La descarga principal de este recurso se produce en una franja de pocas decenas de metros a ambos lados de las aristas dorsales.

[8] a instancia y según procedimiento elaborado por José D. Fernández Bethencourt

- La implementación de salidas numéricas y gráficas para hacer análisis tendenciales en el tiempo.
- El desarrollo de una herramienta para la obtención de balances y magnitudes agregadas o medias en **recintos** (ficheros shape) de interés: bandas de altitud, términos municipales, comarcas, vertientes, unidades hidrogeológicas, …

XXIII.1.5. Cuarta Versión del MHSup

La implantación de nuevas redes de control climático por diferentes entidades: AGROCABILDO, PARQUE NACIONAL DEL TEIDE (PNT), SECOPAN, AREA DE MEDIO AMBIENTE DEL CABILDO (AMA) así como la ampliación de las que gestionan la AGENCIA ESTATAL DE METEROLOGIA (AEMET) y el ICIA han dotado a la isla de un buen número de estaciones «totales» que permiten contar con registros de determinadas variables, como las temperaturas máxima y mínima, las humedades relativas máxima y mínima, la velocidad del viento, la radiación solar,…; que en fechas anteriores sólo estaban disponibles en una decena de estaciones, muy irregularmente repartidas.

En esta penúltima versión (V4) del MHSup, se incorporó al procedimiento el método propuesto por la FAO para el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) según la fórmula de Penman-Monteith[9].

XXIII.1.6. Quinta Versión del MHSup

En la actualidad, el incremento de estaciones totales permite, en gran parte del territorio, formular las relaciones (ETo/ETP) para deducir los coeficientes correctores que hacen equivalentes los valores de la ETP de Thornthwaite con los de la ETo de Penman-Monteith. Por otro lado, la fórmula de Penman-Monteith, aconsejada por la FAO para el cálculo de la ETP, contempla afectar a la ETo con un denominado coeficiente de cultivo (Kc); de manera que: ETP = ETo x Kc.

Las principales novedades de esta última versión del MHSup residen pues en los nuevos coeficientes correctores de la ETP y los aludidos coeficientes de cultivo, a su vez correctores de la ETo. También se han modelizado todas las variables que participan en el proceso de cálculo de la ETo, de forma que puede disponerse de mapas temáticos de todas ellas, así como de sus respectivas series históricas de datos en celdas, cuencas, recintos e isla completa.

[9] En las versiones precedentes, el cálculo de la Evapotranspiración Potencial se hacía con el que denominábamos método de Thornthwaite «corregido». En aquellos lugares donde existían estaciones totales –casi todas localizadas en la costa– a los valores deducidos por Thornthwaite se les aplicaban unos coeficientes correctores, obtenidos de la relación entre la evapotranspiración calculada por Penman-Monteith y la calculada por Thornthwaite. Donde no cabía tal relación –en la mayor parte de la isla– los coeficientes se habilitaron a partir de determinadas funciones en las que intervenían la cota y el mes del año de cálculo.

XXIII.2. ESTADO DE DIVULGACIÓN DEL MHSUP

XXIII.2.1. Primeras publicitaciones

En septiembre del año 2009, con ocasión de unas jornadas organizadas por el CIATF acerca de la hidrología de superficie en esta isla, se hizo la presentación en Tenerife del MHSup mediante la exposición esquemática de su contenido. Por otro lado, los fundamentos metodológicos -así como el detallado proceso de cálculo que incluye el submodelo dedicado a la evaluación de la lluvia horizontal- se publicitaron en el libro: *La nube, el pino y la otra lluvia*, editado por el CIATF en marzo del año 2015. Dicho submodelo, aun siendo harto complejo, sólo concierne a uno de los elementos del BHI.

Sucede, que en estos últimos años se ha venido demandando desde diversas instancias la divulgación, para conocimiento público general, de todo el procedimiento que opera en el MHSup. Era preciso, pues, ofrecer su descripción completa; como así se tenía y se tiene decidido por la Gerencia del CIATF cuando se hizo el encargo a quien suscribe de acometer la redacción de dicha descripción.

XXIII.2.2. En el Plan Hidrológico Insular

Hasta ahora el CIATF ha venido ofreciendo regularmente los valores de cada uno de los elementos que componen el BHI, deducidos a través del MHSup; la penúltima entrega tuvo lugar con la publicación en 2015 del Plan Hidrológico de Tenerife (PHT) que actualizaba los valores aportados en el primitivo PHI´1995. La información pública a la que estuvo sometido el citado documento dio lugar a un conjunto de alegaciones, por parte de diversos sectores (públicos y privados), en las que más que cuestionarse los resultados se demandaba el esclarecimiento del modus operandi con el que se habían deducido; sobre todo con respecto a la evapotranspiración potencial (ETP) y a la infiltración efectiva o recarga. Tales alegaciones se contestaron (con suficiente amplitud y detalle) en su momento, previo a la aprobación del PHT; no obstante, atendiendo a tales demandas, se han incorporado al MHSup nuevos procedimientos de evaluación de la ETP, así como nuevas utilidades que se irán describiendo a lo largo de estas páginas.

XXIII.2.3. Cuestiones a debatir

Aún a pesar de tales respuestas e innovaciones, son varios los apartados del MHSup que -aunque no hayan sido cuestionados- en aras de la mayor transparencia posible deben ser también publicitados para su discusión y debate.

En el proceso de cálculo se contemplan determinados parámetros, como:

- el coeficiente de evaporación
- el coeficiente de transpiración
- el coeficiente de densidad de vegetación
- la profundidad radicular y la de aprovechamiento de la vegetación

cuya razón de ser debe quedar justificada, al igual que su definición mediante algoritmos cuando haya sido el caso.

Además, el MHSup opera apoyándose en determinadas tablas:

- densidad de la cobertera vegetal en: suelo, cultivo y vegetación
- profundidad de absorción en usos de suelo y cultivos
- altura de la cobertera vegetal
- permeabilidad
- valores del umbral de escorrentía

y también se apoya en determinados mapas:

- geológico
- edafológico
- de usos del suelo
- de cultivos
- de vegetación

Es necesario explicar el cometido y forma de uso de tales tablas y mapas.

Dado que se ha implementado en el MHSup un nuevo procedimiento para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP) a partir de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) parece que procede su exposición detallada.

El *balance en el suelo* en las cuencas convencionales y en las endorreicas, se construye a partir de un extenso y complejo formulario que debe ser argumentado.

El proceso de cálculo también puede suscitar ciertos interrogantes:

- ¿Cómo interactúan la lluvia convencional y la horizontal en el procedimiento?
- ¿Cómo se han definido los *umbrales de escorrentía* y de *infiltración en cauces* y cómo operan ambos parámetros en el desarrollo de la avenida?
- ¿Cómo se ha resuelto la captación y derivación de caudales hacia las balsas?
- ¿Cómo y a partir de qué información se ha podido calibrar el modelo?

A éstas y a otras cuestiones semejantes esperamos haberle dado respuesta con la exposición que se hace al respecto en este bloque del libro.

Se ha procurado, además, que la estructura y el contenido de los siguientes capítulos permitan, a quien lo desee, construir un modelo de simulación de la hidrología de superficie, semejante al que opera en el CIATF.

XXIII.3. ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA

La aplicación operativa del MHSup se estructura en cuatro componentes:

- El **Gestor de Datos Hidrológicos Básicos de Tenerife (GDB),** donde se almacena (por fuentes y estaciones) toda la información climática para su control y gestión.

- El **Gestor de Modelos Climáticos (GMC)**, utiliza la información anterior (entre otras) para asignar a cada celda las series de datos correspondientes a las variables intervinientes en el proceso.
- En el **Caracterizador de Parámetros** se calculan y se asignan automáticamente a cada celda los diferentes parámetros de modelización. Para ello se vale de la información original de un conjunto de mapas temáticos que caracterizan distintos aspectos del territorio: geología, tipos y usos de suelo, cultivos, vegetación, etc.
- El **Visualizador de resultados** permite representar mapas, obtener representaciones gráficas de la evolución temporal o estacional de las variables, obtener listados relativos a resultados de modelización, …

XXIII.4. EL MODELO CONCEPTUAL

XXIII.4.1. Planteamiento general

El Modelo Hidrológico de Superficie de la Isla de Tenerife es un modelo «distribuido» que analiza el comportamiento de cada unidad territorial en que se divide la superficie total de la isla. Cada unidad abarca una superficie cuadrada de 200 metros de lado, habiéndose desagregado la isla en un mosaico de celdas –colindantes entre sí– que dan lugar a un conjunto rectangular del que únicamente 51.645 celdas corresponden a territorio emergente situado por encima del nivel del mar.

A partir de la precipitación total de agua (lluvia, nieve, condensación, …) recibida por cada celda se reproducen las distintas fases del ciclo hidrológico del agua, hasta culminar simulando los volúmenes medios mensuales de Infiltración Efectiva que se habrían generado en cada una de las celdas, a lo largo de un período histórico determinado. Se trata, por tanto, de un modelo Lluvia–Infiltración.

XXIII.4.2. El modelo «Lluvia–Infiltración» de Tenerife

La lluvia –directa + horizontal– al tomar contacto con el suelo se reparte entre las diferentes variables hidrológicas que componen el Balance Hídrico Insular (BHI).

PT = PC + PAN = **E** + **I** + **ETR** + **VR** + **EA**

PC: La Precipitación Convencional, Directa o Vertical

PAN: La Precipitación de Agua de Niebla, Indirecta u Horizontal

PT: La Precipitación total de agua de lluvia (PT = PC + PAN)

que se reparte entre:

E: La Escorrentía Superficial que vierte al mar

I: La Infiltración efectiva o Recarga

ETR: La Evapotranspiración Real

EA: La Escorrentía líquida almacenada

VR: La Variación de las Reservas de agua en el suelo

En los cauces de la isla no se dispone de aparatos de medida de caudales; no obstante la escorrentía superficial es evaluable pues apenas representa poco más del 2% del agua de lluvia. Son la Evapotranspiración Real (ETR) y la Infiltración Efectiva o Recarga (I) los elementos del BHI que más se aprovechan de ambos recursos atmosféricos. La evaluación de la primera se hace, obligadamente, a partir de métodos empíricos; la segunda se deduce en el MHSup desplazándola al primer término de la ecuación general al establecer el BHI:

I = P T – ETR – E – VR – EA

En este planteamiento reside una de las diferencias existentes entre los modelos hidrológicos continentales y el que concierne a esta isla: aquellos, por lo general, son modelos de lluvia-**escorrentía** mientras que el MHSup cabría calificarlo de modelo lluvia-**infiltración**. En la imagen adjunta se representa el diagrama del flujo del agua en una cuenca, tal como se concibe en el modelo lluvia-escorrentía más representativo, acreditado y de uso más generalizado en la España peninsular: el SIMPA[10]. La escorrentía superficial se complementa con la subterránea y entre ambas conforman la escorrentía total que aparece al final del recorrido. A su semejanza, hemos construido el que opera en el MHSup de Tenerife.

A grandes rasgos, el esquema de la primera fase del procedimiento, es decir hasta el *Almacenamiento en el suelo*, es similar en ambos; sólo les diferencia la presencia en el esquema del MHSup de la lluvia horizontal. El tratamiento de las variables climáticas, su distribución en el tiempo y en el espacio –celdas– con el apoyo de estaciones virtuales o la evaluación de la evapotranspiración potencial se realizan de forma muy semejante en ambos modelos.

Con respecto al cálculo de la ETP, aunque en el esquema sólo se alude a la Temperatura, en ambos modelos se hace uso de la fórmula aconsejada por la FAO (Penman-Monteith) en la que intervienen otras variables climáticas además de la Temperatura.

Es en la segunda fase cuando uno y otro se separan en los planteamientos debido a dos circunstancias constatadas en el ciclo hidrológico insular:

1. la **inexistencia** de aportaciones desde el acuífero general a los cauces.
2. la **transferencia** de agua desde los cauces al acuífero.

Esta agua transferida, junto con la que logra superar la capa de suelo edáfico, conforman la recarga total, penúltimo peldaño en el esquema del flujo del agua. Las descargas al mar, tanto la superficial desde los cauces como la subterránea desde el acuífero general, completan el recorrido del agua en la isla.

[10] Estrela y Quintas, 1996; Cabezas et al., 2000; Ruiz, 2000

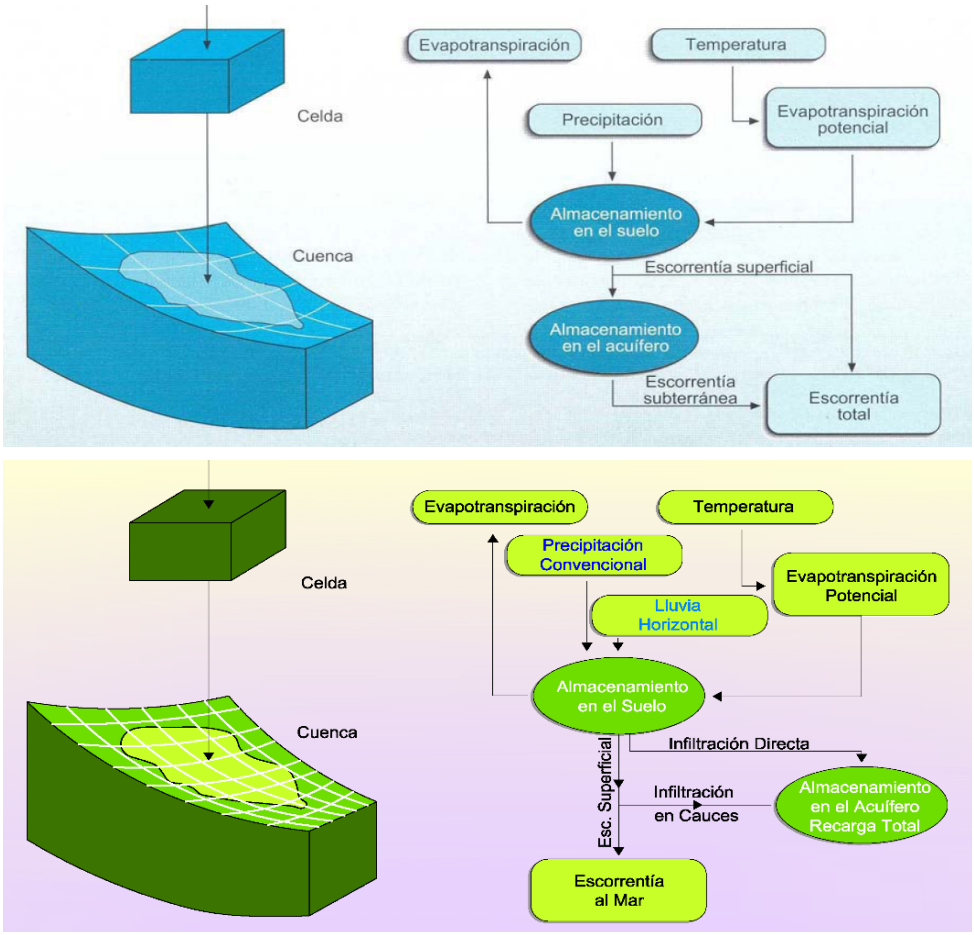


Figura 184. Flujo del agua en el modelo SIMPA (superior) y en el MHSup de Tenerife (inferior)

En 1990 se iniciaba en el CIATF la construcción del MHSup y sin haber tenido contactos mutuos fue una satisfacción descubrir que habíamos operado con un procedimiento similar –con los señalados matices– al seguido por el CEDEX (Estrela, Estrada, Cabezas y Ruiz) en su modelo para el Libro Blanco del Agua en España; nuestro producto era pues también un modelo distribuido de la hidrología de superficie de Tenerife. Si hemos hecho el contraste entre ambos no ha sido sino con la idea de poner de manifiesto coincidencias y desigualdades; pero, sobre todo, para justificar la procedencia del uso de nuestro modelo lluvia-infiltración en la simulación de la hidrología en las islas; al menos en ésta de Tenerife.

XXIII.4.3. Las variables climáticas

La simulación de la hidrología de superficie, según el esquema precedente, se llevó a cabo mediante la creación de algoritmos de los que son partícipes variables climáticas y parámetros hidrológicos relacionados con los elementos que figuran en el segundo término de la ecuación general enunciada líneas atrás:

- **Las variables climáticas**
  - precipitación
  - número de días de lluvia al mes
  - número de días en los que la lluvia supera un determinado umbral
  - temperatura máxima diaria
  - temperatura mínima diaria
  - temperatura media mensual
  - humedad máxima diaria
  - humedad mínima diaria
  - número de días en los que la humedad relativa supera un cierto umbral
  - velocidad del viento
  - velocidad del viento en días húmedos
  - radiación solar

A través del Gestor de Modelos Climáticos se obtienen series básicas -con periodicidad mensual- de cada una de las variables climáticas, en función de los datos mensuales disponibles u obtenidos en el conjunto de estaciones meteorológicas distribuidas por toda la isla. Las series resultantes corresponden a un conjunto de celdas cuadradas -de 200 m de lado cada una- que cubren toda la superficie de la isla y se obtienen a partir de los valores registrados en las estaciones más próximas que rodean a cada celda, utilizando el método Kriging de interpolación.

XXIII.4.4. Los parámetros de caracterización

- **Los parámetros específicos del suelo**
  - capacidad de retención de agua por el suelo CR)
  - umbral de escorrentía (Po)
  - umbral de infiltración en cauces (Io)
  - coeficiente de cultivo (Kc)
- **Los parámetros relativos al aprovechamiento de las escorrentías**
  - capacidad de derivación desde el cauce de un barranco (CD)
  - capacidad de almacenamiento (CA)

A partir de algoritmos, es posible obtener información numérica y gráfica, a distintos niveles de agregación temporal y espacial, acerca de los elementos:

- Precipitación Convencional (PC)
- Precipitación de Agua de Niebla u Horizontal (PAN)
- Temperatura Media (TM)

- Temperatura Máxima (TX)
- Temperatura Mínima (TN)
- Humedad Relativa Máxima (HRX)
- Humedad Relativa Mínima (HRN)
- Nº de días que la Humedad Relativa supera un umbral (NHR>96%)
- Velocidad del Viento (Vv)
- Velocidad del Viento en días húmedos (Vv con HR>96%)
- Evapotranspiración de Referencia (ETo)
- Evapotranspiración Potencial (ETP)
- Evapotranspiración Real (ETR)
- Nº de días de lluvia

- Lluvia Efectiva (PE)
- Infiltración en Cauces (IC)
- Escorrentía (ES)
- Infiltración Efectiva o Recarga (I o R)
- Variación de las Reservas de agua en el suelo
- Recursos superficiales Captados y Almacenados

XXIII.5. EL MODELO DE DATOS

En las 51.645 celdas de 200m • 200m que componen la retícula que representa la isla se introducen los valores de los parámetros con los que opera el MHSup.

XXIII.5.1. Parámetros Hidrológicos

PØ: **Umbral de escorrentía característico del suelo y su cobertura** (mm).- Se extrae de una Tabla cuyos valores básicos son semejantes a los propuestos por el U.S. Soil Conservation Service, ampliamente complementados con otros más representativos de la geología y suelos de cobertera insular.

IØ: **Umbral de infiltración en cauces** (dam^3/km/día).- Los valores asignados –directamente– a cada celda han sido deducidos a partir de la observación de la geomorfología del tramo de cauce que le atraviesa.

PANo: **Módulo óptimo de Lluvia Horizontal diaria desde la vegetación**.- Obtenido a partir del análisis de varias experiencias de campo llevadas a cabo bajo árboles aislados. Su valor es el mismo en todas las celdas.

PHRo: **Módulo óptimo de Precipitación Horizontal diaria sobre la Roca.-** Estimado también en base a experimentos de campo llevados a cabo con elementos artificiales de captación de agua de niebla.

Ke: **Factor de afección al territorio de las nubes de estancamiento.-** Su valor se ha deducido en el proceso de calibración del submodelo de simulación de la lluvia horizontal.

XXIII.5.2. Parámetros Específicos del Suelo

S: **Superficie de suelo ocupada por cada celda** (km^2).- En la celdas de costa: S<0.04 km^2. Resto: S = 0.04 km^2.

KE: **Constante de evaporación** (-).- Obtenida en función de la distribución y la superficie ocupada en el suelo por la vegetación natural y/o las terrazas de cultivo abandonadas y/o en activo. Se extrae de una Tabla.

KR: **Constante de absorción de agua de Reserva** (-).- Se extrae también de Tabla, cuyos valores han sido deducidos en función del tipo y la densidad de la vegetación y/o cultivo que cubre el suelo.

RX: **Reserva máxima de agua que puede contener un suelo** (mm).- Los valores contenidos en la Tabla al efecto han sido deducidos a partir de la cartografía edáfica elaborada por el Departamento de Edafología y Geología de la ULL en base a 182 zonas de muestreo representativas de la isla.

PERp: **Permeabilidad primaria de la roca o suelo de cobertera.-** Se incorporó al mapa GEOLOGÍA GUIA_200 un nuevo campo relativo a la permeabilidad del material que ocupa cada recinto distinguiendo hasta 8 categorías.

PERs: **Permeabilidad secundaria de la roca o suelo de cobertera.-** Deducida en función del grado de enraecimiento de las plantas, dependiente de la profundidad y de la densidad radicular.

XXIII.5.3. Parámetros Específicos del Territorio

N, SE, SO: Orientación.- En función de los vientos dominantes.

Z: **Cota de la celda.-** Cota media de la celda.

Zc: **Cota de la celda de cresta.-** Cota media de la celda que, alineada en vertical con la que se analiza, se localiza en la divisoria de cumbre.

Pte: **Pendiente del terreno.**

B: **Caracterización de celda que se localiza en el inicio de un bosque.**

XXIII.5.4. Parámetros Específicos de la Vegetación.

DV: **Densidad de la Vegetación que cubre el suelo del recinto analizado.**

DVA: **Densidad de Vegetación de la especie más Alta**. Los datos se extraen de la Tabla adjunta al Mapa de Vegetación de Tenerife (MVT-2000).

DVB: **Densidad de Vegetación de la especie más Baja.** Igual que la anterior.

HVA: **Altura de la especie vegetal más Alta.-** Se ha deducido cruzando la información del MVT-2000 con las tablas correspondientes.

HVB: **Altura de la especie vegetal más Baja.-** Igual que la anterior.

PRV: **Profundidad radicular de las distintas especies vegetales.-** La mencionada tabla del MVP-2000 se ha complementado con esta información.

PAV: **Profundidad de aprovechamiento del agua en el subsuelo por las raíces de las plantas.-** Igual que la anterior.

Kc: **Coeficiente de cultivo o de vegetación.-** Los valores están tabulados en sus tablas correspondientes.

XXIII.5.5. Parámetros Hidráulicos.

CDn: **Capacidad máxima de derivación en la celda «n»** (m^3/s). Asignado a las celdas donde se localicen tomaderos para la derivación de las escorrentías.

CAn: **Capacidad de almacenamiento máxima en la celda «n»** ($m^3/1000$). En la celda existe una balsa o presa para el almacenamiento de las escorrentías.

XXIII.5.6. Variables del Clima.

PCm,n**: Precipitación mensual del mes «m» en la celda «n»** (L/m^2).- Se deduce en función de los datos aportados por las, aproximadamente, 230 estaciones pluviométricas que componen la red básica de control.

NDPCm,n**: Número de días de lluvia convencional sucedidos en el mes «m» sobre la celda «n».-** Información extrapolada desde los diferentes estaciones pluviométricas de lectura diaria (Lluvia ≥ 1 mm).

NDPC>5mm m,n**: Número de días de lluvia con registros de más de 5 mm sucedidos en el mes «m» sobre la celda «n».-** Igual que la anterior.

TMm,n:**Temperatura media del mes «m» en la celda «n».-** Se utilizan los datos facilitados por las redes de control.

TXm**: Temperatura máxima del mes «m».-** Igual que la anterior.

TNm**: Temperatura mínima del mes «m».-** Igual que la anterior.

HRXm: **Humedad Relativa Máxima del mes «m».-** A partir de los registros de humedad en las distintas redes meteorológicas insulares.

HRNm: **Humedad Relativa Mínima del mes «m».-** Igual que la anterior.

NDHRmax>96mmm,n**: Número de días en los que la Humedad Relativa ha superado el 96% en el mes «m» sobre la celda «n».-** Igual a anterior.

Vvm,n: **Velocidad media del viento en el mes «m» sobre la celda «n».-** A partir de los registros de Velocidad del viento en las distintas redes insulares.

Vv(HR>96%)m,n**: Velocidad media del viento en los días húmedos en el mes «m» sobre la celda «n».-** Igual que la anterior.

R: **Radiación Solar.-** Valores obtenidos a partir de la información facilitada por los registros de radiación en las distintas redes meteorológicas.

XXIII.5.7. Estaciones virtuales.

Hay zonas en la isla que están desprovistas de estaciones de registro de medidas de algunas de las variables climáticas. Por otro lado, los microclimas en determinados entornos de la isla demandan una mayor densidad de puntos de control. Se han creado al efecto estaciones virtuales cuyo número y localización se han establecido según la variable a definir. Sus respectivas series se obtienen a partir de algoritmos que las relacionan con las estaciones reales más cercanas, teniendo en cuenta la localización, en planta y en alzado, de las primeras respecto de las segundas.

XXIII.5.8. Tablas y Mapas Temáticos.

El MHSup opera extrayendo los datos reflejados en varias tablas:

- densidad de la cobertera vegetal en: suelo, cultivo y vegetación
- profundidad de absorción en usos de suelo y cultivos
- altura de la cobertera vegetal
- permeabilidad
- umbral de escorrentía.

El MHSup también se apoya en determinados mapas temáticos:

- geológico (GEOLOGÍA GUIA_08)
- edafológico CARTOGRAFÍA EDÁFICA_ULL)
- de usos del suelo (OC SUELO_02)
- de cultivos (CULTIVOS 2004)
- de vegetación (VEG TFE).

XXIII.5.9. Características Topológicas de las Celdas

Cada celda se identifica por su sigla. Además, tienen asignado:

- el número de la cuenca a que pertenece
- su localización en el interior de la cuenca (cabecera, interna, ramal, ….)
- el tipo de cauce o de ramal que les ocupa y el orden que ocupan en éste
- su localización en el bosque, (de borde o de interior).

XXIII.5.10. Celdas Sumidero.

En las cuencas endorréicas el agua de escorrentía superficial no tiene salida por gravedad; lógicamente una de las celdas que compartimentan la superficie de la cuenca es la receptora de las escorrentías generadas en las restantes. A estas celdas les hemos denominado celdas «sumidero». Para su identificación se asignó un valor específico al umbral característico de infiltración en cauces: **I**Ø(c) = 275 mm

XXIII.6. EL MODELO MATEMÁTICO

XXIII.6.1. Discretización de la isla y de las cuencas hidrográficas.

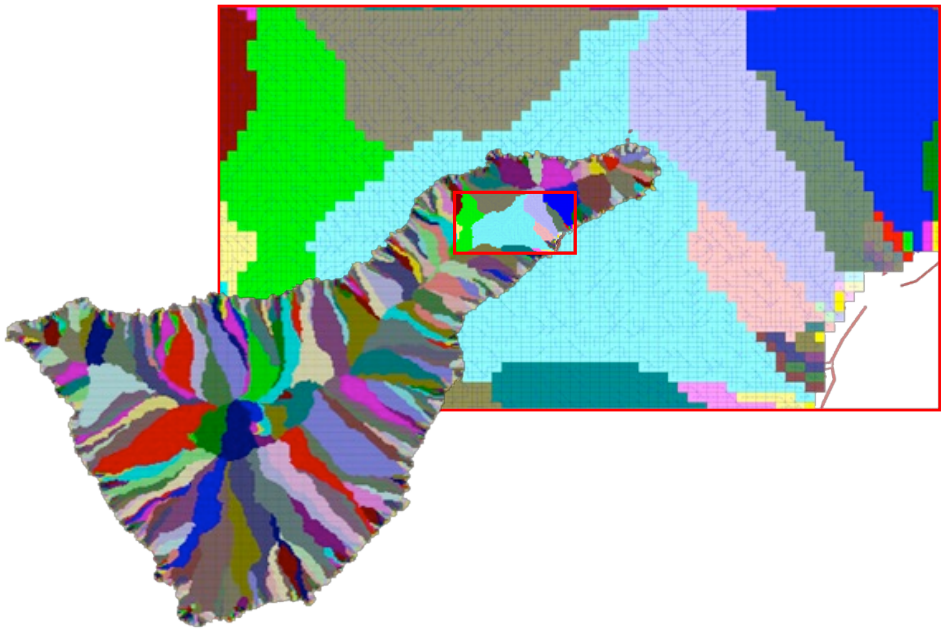


Figura 185. Cuencas hidrográficas y detalle de la cuenca del bco de Santos.

La modelización matemática del sistema parte de la discretización de la isla en una malla de 51.645 celdas de 200m • 200m que componen los contornos dentados de más de 1000 cuencas hidrográficas con salida al mar, de tal modo que dentro de cada cuenca quedan perfectamente estructuradas y jerarquizadas sus distintas arterias de drenaje. Las celdas se relacionan entre sí en función del camino que sigue el flujo de las aguas de escorrentía. A cada celda se le asignan los valores de los parámetros específicos del trozo de suelo que limitan: los de la vegetación, los relativos al aprovechamiento de la escorrentía y los de las variables climáticas enunciadas.

XXIII.6.2. Premisas de partida.

- La lluvia horizontal o Precipitación de Agua de Niebla (PAN) participa en el balance directamente junto con la lluvia convencional (PC).
- En general, la lluvia horizontal no genera escorrentía superficial. Sólo en determinados entornos, parte de este recurso alcanza los cauces de los barrancos, pero o bien es interceptado para su aprovechamiento o desaparece bajo el piso del cauce antes de su posible descarga al mar.
- La escorrentía (ES) no es afectada por la evaporación.

- A los efectos del cálculo de la *infiltración en cauces*, se considera la transferencia del flujo del agua sobre la cuenca.
- Aunque la Infiltración Efectiva y la Recarga al acuífero no coinciden en el tiempo, en el proceso operativo del MHSup son términos equivalentes.
- La infiltración efectiva (I) es el elemento indeterminado del balance.

XXIII.6.3. Tratamiento de las variables climáticas.

La incorporación al proceso de cálculo de las variables climáticas requiere cinco operaciones básicas previas:

- Desagregación de los registros de lluvia medidos extemporáneamente.
- Ajuste de datos y corrección de errores.
- Relleno de lagunas de registros.
- Relleno mensual de lagunas de series climáticas en celdas.
- Alargamiento de series en determinados casos.

XXIII.6.3.1. Desagregación y/o ajuste de los registros de lluvia.

En las estaciones de lectura mensual, en ocasiones, el dato no se toma el último día del mes o el primero del siguiente, bien por cuestiones de logística o bien por coincidencia de esos días con fin de semana o con período vacacional. Con el apoyo de otras estaciones vecinas se procede, manualmente, a asignar el valor que de corresponderle a cada uno de los meses implicados.

XXIII.6.3.2. Relleno de lagunas de registros.

Cuando se inició la construcción del MHSup en algunas estaciones meteorológicas las series de registros de precipitación y temperatura –con origen en 1944/45–estaban incompletas. Para solucionar tal contingencia al Gestor de Datos Básicos (GDB) se le incorporó una utilidad que permite el relleno de lagunas a partir del análisis de las **correlaciones estacionales** existentes entre un conjunto de hasta 10 estaciones diferentes, procediendo al relleno de los valores no registrados en una estación en función de los valores observados en el resto del conjunto analizado.

XXIII.6.3.3. Relleno mensual de lagunas de series climáticas en celdas

En cada proceso de actualización del MHSup es frecuente la falta de registros en algunas de las variables. Tales carencias se han venido estimando manualmente, obteniendo los valores por interpolación entre las isolíneas construidas previamente a partir de los datos aportados por las estaciones que disponían de dato.

La penúltima versión del MHSup (V4) ha introducido en el Gestor de Modelos Climáticos (GMC) una nueva utilidad que ofrece la opción de fraccionar el período de cálculo en diferentes períodos según sea la disponibilidad de datos en las estaciones partícipes en el proceso de cálculo.

XXIII.6.3.4. Alargamiento de series climáticas.

La implantación de la red oficial de meteorología tuvo lugar entre 1944 y 1945; ahora bien, no todas las estaciones iniciaron su actividad simultáneamente; además diferentes eventos (Proyecto SPA-15, ProyectoMAC-21) complementaron la red. Haciendo uso de la utilidad para el relleno de lagunas se prolongaron hacia atrás –hasta el año hidrológico 1944/45- las series de las nuevas estaciones.

Al objeto de disponer de un orden de magnitud de la PAN durante aquellos años esa misma operación se llevó a cabo con la humedad relativa y la velocidad del viento, aún a sabiendas del bajo grado de fiabilidad que ofrecerían los resultados debido a la escasa disponibilidad de estaciones de este tipo en aquellas fechas. Por esta circunstancia, siempre se advierte que en relación a la definición de la PAN el período más representativo es el que se inicia en 1985/86.

XXIII.6.4. Asignación de series climáticas a celdas.

Una vez seleccionado el período a analizar, en el GMC se obtienen las series básicas, con periodicidad mensual, de todas las variables climáticas que intervienen en el proceso de cálculo. Las series resultantes corresponden al conjunto de celdas –de 200m • 200m– de la retícula que cubre la superficie de la isla; series obtenidas en base a los valores registrados en las estaciones más próximas que rodean a cada celda, utilizando el método Kriging de interpolación.

XXIII.7. SECUENCIA EXPOSITIVA DEL PROCESO DE CÁLCULO

En el libro «*La nube, el pino y la otra lluvia*» (editado por el Consejo Insular de Aguas en 2015) se hace la exposición detallada del submodelo de simulación de la Lluvia Horizontal. En el próximo apartado se ofrece una escueta referencia del mismo.

En los capítulos siguientes se expone la metodología para la definición de los parámetros de caracterización que intervienen en el proceso de cálculo del MHSup:

1. el Umbral de Escorrentía característico del suelo (**P**Øc)
2. el Umbral de Infiltración en cauces característico (**I**Øc)
3. el Coeficiente de Evaporación (**KE**)
4. la Reserva Máxima de agua en el suelo (**RX**)
5. el Coeficiente de Absorción de agua en el suelo (**KR**)
6. el Coeficiente de Cultivo (**K**c)

A continuación, se procede a la exposición de cada una de las etapas del proceso operativo implementado en el MHSup, siguiendo el orden que corresponde a un modelo Lluvia-Infiltración como el que nos ocupa.

- en los primeros capítulos se describen los cálculos de la Escorrentía (ES) circulante, la derivada (ED) y la almacenada (EA)

- le sigue la evaluación de la Evapotranspiración Potencial (ETP)
- con el balance en el suelo se expone como se deducen:
  - la Evapotranspiración Real (ETR)
  - la Reserva final de agua (R) en el suelo edáfico
  - la Infiltración (I) es el elemento incógnita en la resolución del balance entre la Precipitación y el resto de los elementos citados.

XXIII.8. EL SUBMODELO MATEMÁTICO DE SIMULACIÓN DE LA LLUVIA HORIZONTAL

En el MHSup la PAN se deduce empíricamente a través de un submodelo de simulación, creado ex profeso, a partir del cual y bajo la consideración de:

- Las variables climáticas:
  - Humedad relativa del aire → nº de días que HR > 96%.
  - Velocidad del viento en días húmedos.
- Las características del manto de nubes:
  - Procedencia: régimen de alisios o de inestabilidad atmosférica.
  - Posicionamiento en altura.
  - Espesor y distribución del contenido de niebla en su interior.
  - Dinámica: Nubes de desbordamiento o nubes de estancamiento.
- Los parámetros relativos al territorio → Localización
  - Vertiente
  - Altitud y cota de cresta de la zona afectada

es posible aproximar la definición cuantitativa y territorial de:

1) El potencial climático de Tenerife para captar agua de niebla.

Posteriormente, teniendo en cuenta:

- Los elementos biológicos (vegetación) o naturales (la roca) de captación y las características de los primeros:
  - Tipo
  - Envergadura
  - Densidad

se ha podido evaluar:

2) La cuantía y distribución territorial de la PAN en la isla

y a partir de su modelización en el MHSup:

3) La incidencia de este recurso en la recarga al multiacuífero insular.

CAPÍTULO XXIV
PARÁMETROS DE MODELIZACIÓN

XXIV.1. INVENTARIO

El proceso de cálculo en el que se sustenta el MHSup se adapta a las pautas metodológicas, los fundamentos y la formulación de la hidrología tradicional; ahora bien, para dar respuesta a varias de las «singularidades» de la hidrología insular ha habido que incorporar al procedimiento general, junto a los parámetros clásicos, otros nuevos con sus correspondientes subprocesos de cálculo que, lógicamente, no se contemplan en modelos realizados en otros ámbitos.

Para la evaluación de la escorrentía superficial cada celda está caracterizada con dos parámetros principales:

1. el **Umbral de Escorrentía** característico del suelo que ocupa la parcela o la celda de la retícula que representa la isla en el MHSup (**PØ**c)
2. el **Umbral de Infiltración** de las escorrentías característico del tramo **de cauce** o de los tramos de cauces que atraviesen la celda (**IØ**c)

En el proceso de cálculo del Balance en el Suelo intervienen:

3. el **Coeficiente de Evaporación** (**KE**)
4. la **Reserva Máxima** de agua en el suelo (**RX**)
5. el **Coeficiente de Absorción** de agua en el suelo (**KR**)

Es fundamental en la evaluación de la Evapotranspiración Potencial:

6. el **Coeficiente** de **Cultivo** (**K**c)

Un programa específico se encarga de rellenar automáticamente, en el conjunto de celdas de 200 • 200 m de la retícula del MHSup, los campos correspondientes a los citados parámetros de modelización, utilizando para ello las capas temáticas vectoriales –en formato MapInfo–, así como un conjunto de ficheros de control tipo XML encargados de establecer la manera de rellenar los citados campos.

XXIV.2. EL UMBRAL DE ESCORRENTÍA (PØ)

XXIV.2.1. Introducción

En las fechas de inicio de construcción del MHSup todavía no se disponía de herramientas SIG y el potencial de información residía en la caracterización artesanal de las cuencas hidrográficas a partir de la inspección exhaustiva de sus laderas y cauces. Se identificaba, se valoraba y se cartografiaba toda aquella información que siendo imprescindible para definir la hidrología local no era fácil detectar en las cartografías disponibles. Se ponía especial interés en la geomorfología de detalle, como la localización de sumideros en los cauces, el agrietamiento de la roca, el grado de disgregación del suelo provocado por las raíces del arbolado, …; también

se inventariaban las actuaciones antropológicas que hubieran modificado la red de drenaje natural, como los desvíos de barrancos, las canalizaciones, … o que hubieran modificado las laderas vertientes, como las terrazas de cultivo.

Las características geomorfológicas generales de la mayoría de las cuencas hidrográficas de la isla se plasmaron en esquemas como el de la figura o los de otros similares, ya aportados en capítulos precedentes. La información de detalle se anotaba al pie de cada una de las más de 3.000 fotografías[11] realizadas durante más de dos años a lo largo y ancho de casi toda la red hidrográfica insular.

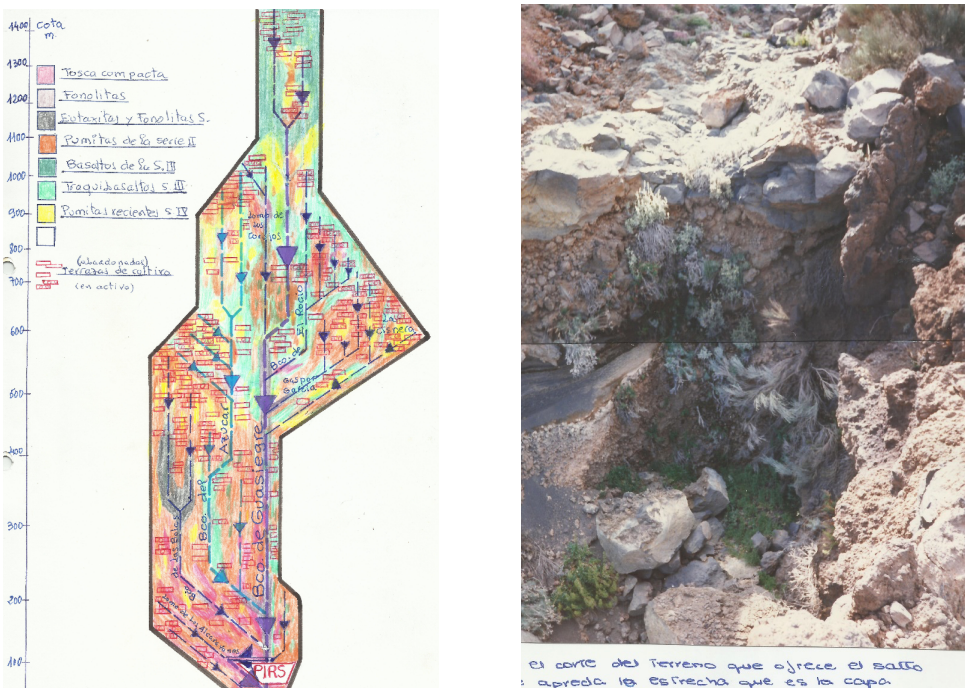


Figura 186. Características geomorfológicas del barranco de Guasiegre (Arico) e imagen de detalle del cauce del barranco de Icor (Arico).

XXIV.2.2. Definición

EL UMBRAL DE ESCORRENTÍA puede definirse como la cantidad de agua de lluvia –diaria en nuestro caso– a partir de la cual el terreno deja de absorber todo el agua que le llega quedando parte en la superficie del suelo para generar corrientes de escorrentía. Depende del tipo de cobertera pero también de las condiciones de humedad del suelo receptor en el momento de la lluvia. A cada celda del MHSup le ha sido asignado su correspondiente umbral de escorrentía característico (PØc).

[11] En el CIATF acopiadas en más de 40 álbumes

En Tenerife la cobertera se caracteriza por:

- la heterogeneidad de la geología de superficie
- los distintos tipos de suelo edafológico
- la variada cubierta vegetal

XXIV.2.3. Evaluación

El Umbral de Escorrentía se ha deducido para cada una de las celdas que componen la retícula del MHSup combinando la permeabilidad PRIMARIA y la permeabilidad SECUNDARIA del suelo de cobertera. En el primer caso teniendo como referencia los usos del suelo. Si se trataba de SUELO URBANO, aplicando las medidas del U.S.S.C. Service. En los recintos ocupados por CULTIVOS y VEGETACIÓN el umbral de escorrentía se obtuvo en función de:

1. la permeabilidad primaria (**PER**p) del suelo de cobertera (EDAFOLOGÍA) asociada a la litología (GEOLOGÍA) que subyace bajo dicho suelo
2. la permeabilidad secundaria (**PER**s) que se deriva del agrietamiento y de la fracturación que produce el avance y crecimiento de las raíces del arbolado.

XXIV.2.3.1. La Permeabilidad Primaria (PERp)

Edafología

La construcción de la Cartografía Edáfica de la isla de Tenerife tuvo como referencia el análisis de **182** zonas de muestreo representativas de los distintos suelos de la isla, los cuales se «caracterizaron» mediante la Tasa de Infiltración Básica (TIB) medida en mm/hora y la Capacidad Máxima de Reserva de Agua en el Suelo (RX). A partir de dicha información se crearon hasta 9 categorías de TIB acotadas entre un valor máximo y un valor mínimo:

Geología

Las 28 hojas (1:25.000) que conforman el Mapa Geológico de la isla de Tenerife, elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) definen las formaciones geológicas estratificadas en series volcánicas (I(1), II(2), III(3) y IV(4)) hasta en tres niveles (Superior (1), Medio (2) e Inferior (3)). Combinando «formaciones» con «niveles» se crearon hasta 12 subniveles de estratificación geológica:

Las formaciones litológicas se agruparon según su afinidad hidrogeológica teniendo en cuenta, fundamentalmente, sus características de permeabilidad.



Tabla 55. Formaciones litológicas agrupadas según afinidad hidrogeológica

Cálculo

A cada una de las 9 agrupaciones litológicas se les relacionó con los 9 grupos de TIB y los 12 niveles de estratificación geológica.

Se establecieron como criterios generales que:

- A mayor antigüedad de serie estratigráfica menor permeabilidad
- A mayor TIB mayor permeabilidad

Los valores de las casillas de las 9 Tablas construidas al efecto –la tabla nº 56 es un ejemplo– se rellenaron a partir del cruce de la serie estratigráfica con la TIB correspondiente, teniendo en cuenta sus respectivos criterios de permeabilidad.

b, tb, b,es, b,p, b,tb, b,tbf, tb,b, tb,f, t,bt, b,Tb								
TIB	0	0,1- 16	16 - 50	50 -100	100 -140	140 -200	200 -400	400 -600	600 →
serie	PERp	PERp	PERp	PERp	PERp	PERp	PERp	PERp	PERp
1.1	MMB	MMB	MMB	MMB	MMB	MB	MB	B	M
1.2	MMB	MMB	MMB	MB	MB	B	B	B	M
1.3	MMB	MMB	MB	MB	MB	B	B	M	A
2.1	MMB	MB	MB	B	B	B	M	A	A
2.2	MMB	MB	B	B	B	M	A	A	MA
2.3	MMB	B	B	M	M	A	A	MA	MA
3.1	MMB	B	M	A	A	A	MA	MA	MA
3.2	MMB	M	A	A	MA	MA	MA	MA	MMA
3.3	MMB	A	A	MA	MA	MA	MMA	MMA	MMA
4.1	MMB	MA	MA	MA	MA	MMA	MMA	MMA	EXA
4.2	MMB	MA	MA	MMA	MMA	MMA	MMA	EXA	EXA
4.3	MMB	MA	MA	MMA	MMA	MMA	EXA	EXA	EXA

Tabla 56. Permeabilidad primaria de la Agrupación Basaltos (b) y Traquibasaltos (tb) según su nivel de estratificación geológica y la tasa de Infiltración Básica (TIB) de su suelo de cobertura. EXA: Extremadamente Alta; …..… .A: Alta; M: Media**;** B: Baja…….…..MMB: Muy Muy Baja

A continuación, se incorporó a la tabla que acompaña al mapa GEOLOGÍA GUÍA_2008 el campo que define la permeabilidad del conjunto roca-suelo que ocupa cada recinto de la malla de la retícula del MHSup.

XXIV.2.3.2. La Permeabilidad Secundaria (PERs)

Fruto de múltiples observaciones de campo, se dedujo que la permeabilidad secundaria (**PER**s) es producto, entre otras, de la fracturación que producen las raíces del arbolado entre la roca; siendo especialmente llamativa en las litologías más modernas. El grado de afección depende, además del tipo de roca afectada, de:

- el tipo de planta
- la profundidad radicular
- la densidad radicular

Las dos primeras relacionadas con la altura de la vegetación: a mayor porte mayor dimensión radicular, mayor fracturación de la roca y por tanto mayor permeabilidad. Se establecieron tres niveles de altura: Alta (>= 5m), Media o Baja (< 1m). La densidad radicular está directamente relacionada con la densidad de la vegetación en la parcela: a mayor densidad de arbolado mayor será el espacio ocupado en el subsuelo por las raíces, mayor será el quebrantamiento de la roca y mayor será la permeabilidad.

XXIV.2.4. Valores de PØ en los suelos de Tenerife

Se construyó una Tabla de Umbrales de Escorrentía similar a la del SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS), pero adaptada a la realidad insular incorporándola nuevas categorías relativas a los suelos más permeables de la isla. Las cuatro categorías de la tabla del SCS (A, B, C y D) se reconvirtieron en ocho:

En el mapa adjunto se representa la distribución territorial de la permeabilidad.

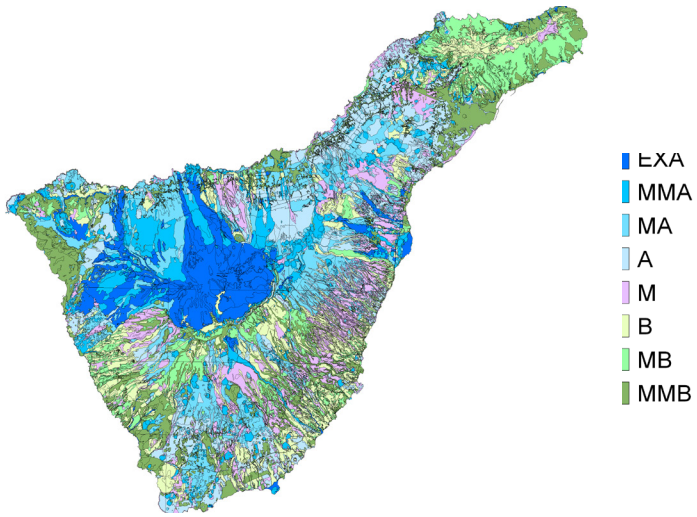


Figura 187. Mapa de Permeabilidades

La Tabla con la que opera el MHSup es de «cuádruple» entrada:

1º) la permeabilidad «primaria» (**PER**p) del recinto:

y en relación con la permeabilidad «secundaria»:

2º) el tipo de COBERTERA: Cultivos, Vegetación natural y/o Suelo

3º) la DENSIDAD de la vegetación o de cultivo existente en el recinto

4º) en el caso de la vegetación su ALTURA

SCS	A					B'				
PERp	A<>5					M<>4				
PERs	CUL	AL	MD	BJ	SUE	CUL	AL	MD	BJ	SUE
DEN	TIVO	VEGETACIÓN			LO	TIVO	VEGETACIÓN			LO
0	70	55	50	45	40	50	35	30	25	25
5	73	56	51	46	40	52	36	31	26	25
10	76	58	53	47	41	54	38	33	27	26
15	79	60	54	48	41	56	40	34	28	26
20	82	63	56	49	42	58	42	36	29	27
25	85	66	58	50	42	60	45	38	30	27
30	88	69	60	51	43	63	48	40	31	28
35	92	72	62	52	43	66	51	42	32	28
40	96	76	65	53	44	69	54	44	33	29
45	100	80	67	54	44	72	57	46	34	29
50	104	84	70	55	45	75	60	48	35	30
55	108	88	72	56	45	78	63	50	36	30
60	112	92	75	57	46	81	66	52	37	31
65	116	96	77	58	46	85	69	54	38	31
70	120	100	80	59	47	89	72	56	39	32
75	125	104	82	60	47	93	75	58	40	32
80	130	108	85	62	48	97	78	60	41	33
85	135	112	88	64	48	101	81	62	42	33
90	140	116	91	66	49	105	84	64	43	34
95	145	120	94	68	49	110	87	66	44	34
100	150	125	98	70	50	115	90	68	45	35

Tabla 57. Dos de las ocho categorías de la Tabla de valores del Umbral de Escorrentía (PØ).

El cálculo del parámetro se efectúa a través de una tabla tridimensional en la que interviene, por una parte, la permeabilidad del conjunto roca-suelo, por otro la densidad de la cobertera vegetal y, finalmente, el mapa temático básico (suelo, tipo de cultivo o vegetación) utilizado para efectuar la caracterización; y con vegetación, la altura media de la vegetación en el recinto de que se trate.

XXIV.3. EL UMBRAL DE INFILTRACIÓN EN CAUCES (IØ)

XXIV.3.1. Consideraciones

Por lo general, en los modelos lluvia-escorrentía no se tienen en consideración las posibles pérdidas de agua bajo el lecho de los ríos ya que es más significativo el fenómeno contrario: que el acuífero o los acuíferos alimenten el flujo del agua circulante. En la isla no existen ríos continuos y el techo del acuífero general, que hace 100 años se encontraba relativamente próximo a la superficie del terreno, está alejado de esta en alzado hasta 500 metros, según zonas (ver apartados IX.2.). Salvo los pocos acuíferos colgados que suministran escorrentías de «ribera» a algunos cauces, estos no tienen más aportes hídricos que los que les derivan sus cuencas vertientes después de las lluvias.

En el MHSup de Tenerife se tiene en consideración el flujo de las escorrentías a través de los cauces, permitiendo así evaluar las consiguientes pérdidas por infiltración que se generan sobre éstos; pérdidas que su vez redundan en un importante volumen de recarga hacia los acuíferos, cuya no consideración desvirtuaría en gran medida, al menos esta isla, este término del balance.



Figura 188. Hoya al pie de un pequeño salto en el cauce del barranco de El Cuervo.

Debajo de la roca fonolítica afloran materiales sueltos (piroclastos). Unos 60 metros por debajo discurren los primeros metros de la galería El Milagro en Vilaflor. Gran parte del agua de escorrentía al alcanzar la hoya se infiltra y aparece de nuevo en la galería, incrementando sensiblemente su caudal.

XXIV.3.2. Definición

El fenómeno de la Infiltración en Cauces es consecuencia de la erosión provocada por las corrientes de escorrentía (líquida y sólida), las cuales dan lugar a:

- La destrucción de la roca de cobertera del cauce
- El afloramiento en el cauce de materiales escoriáceos de alta permeabilidad.

El Umbral de Infiltración en Cauces (IØ) con el que se pretende evaluar el alcance de este fenómeno lo hemos definido como:

"el volumen de agua de escorrentía que se infiltra por kilómetro de cauce recorrido por la avenida".

XXIV.3.3. Evaluación

Su evaluación en el primitivo modelo de simulación (MHS_1000x1000) se basó en dos actuaciones fundamentales:

1. La observación de la geomorfología de los cauces tramo a tramo
2. El control periódico de las avenidas.

A cada uno de los cauces que atravesaban la celda se le asignaba un Umbral de Infiltración característico (IØ(c)) cuyo valor se estimaba en decámetros cúbicos por kilómetro de cauce y día (dam^3/km/día) reconvertidos después a medida específica (mm/km/día) en función de la superficie de la celda[12]. El valor máximo de IØ(c) se estableció en **55** mm para las celdas «sumidero».

En el actual MHSup el valor de **I**o en cada una de las 51.645 celdas de la retícula se extrapolaron desde las celdas 1000 x 1000 haciendo los pertinentes ajustes.

XXIV.4. EL COEFICIENTE DE EVAPORACIÓN (KE)

XXIV.4.1. Introducción

Antes de establecer el «balance en el suelo» se estimó conveniente y deseable diferenciar los términos evaporación y transpiración. Es de común aplicación al respecto que: "…*en general para grandes extensiones o valor medio y refiriéndose a todo el ciclo del año, la transpiración supone aproximadamente, como orden de magnitud, la mitad de la evapotranspiración; es decir la mitad del término E es evaporación directa y la otra mitad es a través del ciclo biológico de la planta, aun cuando ésta se refiera a períodos grandes y en grandes exten-*

[12] En la mayoría de las celdas la longitud de cauce (LC) era de aproximadamente 1km por lo que el Io de cálculo coincidía en el MHS_1000x1000 prácticamente con IØ(c). Sólo cuando el cauce la atravesaba próximo una esquina había que minorar o si lo hacía en diagonal mayorar, según la longitud de cauce dentro del recinto. La situación más comprometida ocurría cuando por una celda circulaban más de un cauce que, además, solían ser de diferente nivel. En este caso, se sumaban los Io correspondientes a cada uno de los cauces teniendo en cuenta la longitud de recorrido de cada uno de ellos dentro de la celda y sus respectivos IØ(c).

siones"[13] Estas condiciones no es corriente encontrarlas en las islas; todo lo contrario, en el mar de lavas -prácticamente desprovisto de vegetación- la transpiración apenas debe significarse, mientras que en los espesos bosques de monte verde y laurisilva será donde alcance los valores más altos, en detrimento de la evaporación. Por otro lado, en el MANUAL de la FAO[14] se advierte que:

> *En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. ... En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del de 90% de la ET ocurre como transpiración.*



Figura 189. Tres parcelas de bosques de pinos

Izquierda: En gran parte del suelo no existe vegetación; sólo una familia poco densa de pinos
Centro: Muy cerca de la parcela anterior el mismo bosque de pinos ocupa casi todo el suelo.
Derecha: Dos especies de distinto porte (pinos + monte verde) cubren totalmente el suelo.

Había que definir, de alguna forma, los porcentajes de participación de una y otra variable en los distintos hábitats vegetales de la isla, entre los que se alternan bosques con un arbolado muy denso con otros en los que, aun conteniendo la misma especie vegetal, son más abundantes los claros. La isla cuenta además con grandes extensiones de materiales de vulcanismo reciente donde la vegetación si existe es simplemente testimonial.

XXIV.4.2. La Densidad de Vegetación (DV)

En una misma celda pueden concurrir distintos usos. En función de la disponibilidad de información que facilitaban los SIG, se hicieron tres distinciones:

---

[13] HIDROLOGÍA Y RECURSOS SUBTERRÁNEOS – Rafael Heras 1976

[14] Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de cultivos – ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56 – ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN

- Con el mapa de **Ocupación de Suelo**: espacios sin vegetación ni cultivos o con muy escasa vegetación
- Con el mapa de **Cultivos**: suelos ocupados por parcelas de cultivo
- Con el mapa de **Vegetación** de Tenerife: suelos cubiertos total o parcialmente por vegetación natural (arbórea o no arbórea)

Para los suelos y los cultivos se adoptaron valores estándar −100% en el caso de los cultivos− con los que se caracterizaron las parcelas de celda en las que se dedujeran estos tipos de ocupación al cruzar sus respectivos mapas con la retícula del MHSup. Para definir la densidad de la vegetación natural se incluyeron en la tabla asociada al mapa tres campos nuevos:

1. el % de celda ocupada por vegetación (OCU_VEG)
2. la densidad de la vegetación dominante (DEN_VD)
3. la densidad de la vegetación secundaria (DEN_VS)

La densidad de vegetación (DV) en cada recinto del mapa Vegetación se calcula de acuerdo a la función:

$$\mathbf{DV} = \text{OCU_VEGE} \cdot (\text{DEN_VD} + \text{DEN_VS}) / 100$$

XXIV.4.3. Evaluación del Coeficiente de Evaporación

Se asumió como criterio que en un bosque muy denso (DV = 100%) en el que la cobertera vegetal impide totalmente la penetración de los rayos solares, la Evaporación (EV) viene a representar el 40% de la Evapotranspiración; en el otro extremo, un suelo exento absolutamente de vegetación, EV sería el 100%.

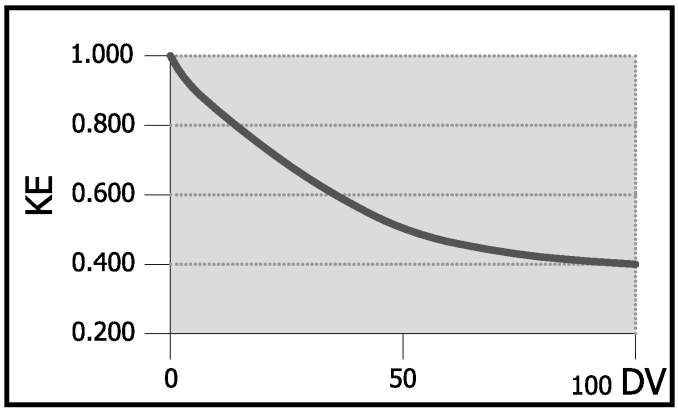


Figura 190.- Relación entre el K de evaporación y la densidad de vegetación.

Los valores intermedios dieron lugar a la curva envolvente cuya función define el Coeficiente de Evaporación (KE): **KE** = 0,00006 • **DV**^{2} - 0,012 • **DV** + 1

En el proceso de cálculo del MHSup la capa de celdas se cruza con las de los tres mapas temáticos: ocupación de suelos, cultivos y vegetación natural de forma que cada celda queda caracterizada con su respectiva DV. A partir de ésta el modelo calcula el KE correspondiente mediante la aplicación de la función precedente.

XXIV.5. EL AGUA DISPONIBLE EN EL SUELO

El agua disponible en el suelo para el consumo de las plantas (**RDX**) es aquella que esté accesible a las raíces. Depende de la reserva máxima de agua (**RX**) y de la capacidad de absorción de la vegetación (**KR**), a su vez dependiente de la densidad (DR) y profundidad (PA) del sistema radicular. **RDX = RX • KR.**

XXIV.6. LA RESERVA MÁXIMA DE AGUA EN EL SUELO (RX)

La Reserva Máxima de Agua en el suelo se define como la cantidad de agua que es capaz de retener el suelo una vez eliminada el agua de gravedad de flujo rápido.

XXIV.6.1. Evaluación

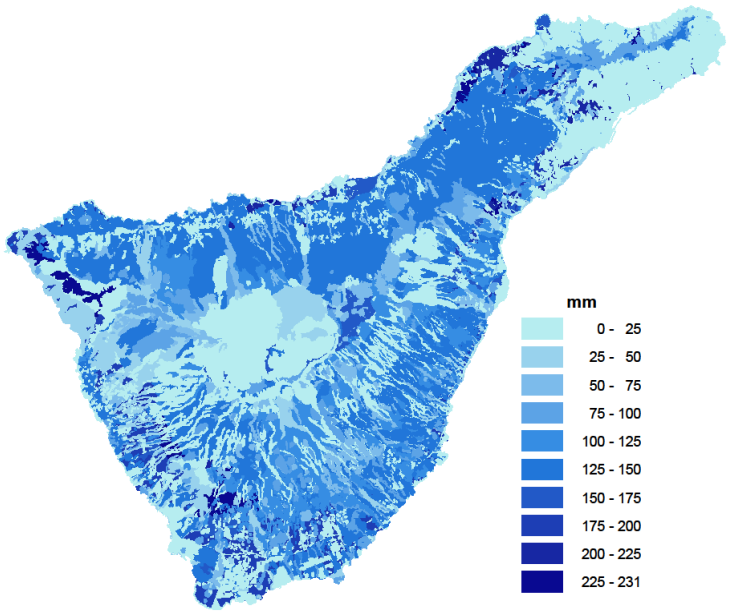


Figura 191. Mapa de la Capacidad de Retención Máxima de Agua.

La cartografía edáfica elaborada por el Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna tuvo como soporte el análisis de 182 zonas de muestreo representativas de la isla. Los datos de RX para los distintos suelos se

ofrecen de 10 en 10 cm hasta una profundidad, según casos, comprendida entre 50 y 80 cm; habiéndose hecho las estimaciones tanto sobre muestra húmeda como seca al aire. Dicha cartografía se implementó en el MHSup como un mapa temático más, del cual se extrae, mediante las operaciones de ponderación correspondientes, el valor de RX asignado a cada celda.

XXIV.7. EL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE AGUA (KR)

XXIV.7.1. Definición

Aunque un suelo sea capaz de retener una reserva máxima de agua determinada (RX), el agua disponible para las plantas será la que esté accesible a sus raíces. Por tanto, el agua disponible no será siempre RX sino que dependerá de:

- la densidad del sistema radicular
- la profundidad de aprovechamiento del sistema radicular

La densidad radicular depende a su vez de la densidad de vegetación:

$$DR = f(DV)$$

A mayor densidad → más densidad radicular → más transpiración.

El Coeficiente de Absorción de agua del suelo o de agua de Reserva (KR) con el que se afecta a la Reserva Máxima (RX) de agua es consecuencia, pues, del producto de dos factores: KR = KDR • PA, siendo:

- KDR = Coeficiente de Densidad de vegetación a los efectos de la Reserva.
- PA = Profundidad de aprovechamiento de la planta.

XXIV.7.1.1.- Coeficiente de Densidad de Vegetación (KDR)

Tales consideraciones llevaron a plantear una relación no lineal entre la densidad de vegetación (DEN) y el coeficiente de densidad de vegetación (KDR):

$$\mathbf{KDR} = -0{,}0001 \bullet \mathbf{DV}^2 + 0{,}02 \bullet \mathbf{DV} + 0{,}0106$$

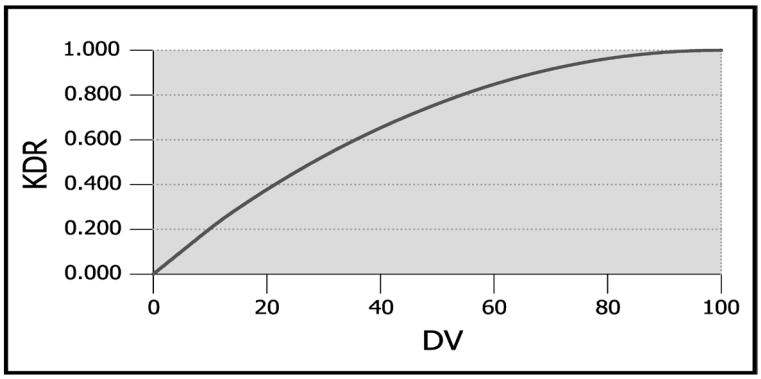


Figura 192. Función de relación entre KDR y la densidad de vegetación (DV)

XXIV.7.1.2. Profundidad de aprovechamiento del agua por la planta (PA)

El agua que puede retener el suelo a su capacidad de campo menos la que mantiene en su punto de marchitamiento es la que se conoce como «agua útil». El contenido en la zona de enraizamiento (profundidad radicular: PR) más unos 50 cm (según especie vegetal), profundidad estimada susceptible de ascenso capilar, constituye la reserva de agua del suelo. La Profundidad de Aprovechamiento (PA) quedó establecida en función de ambos elementos: $PA = PR + (\Delta \bullet PR / 2{,}5)$

Con el término: $\Delta \bullet PR / 2{,}5$ variable según la especie vegetal, se define la profundidad, por debajo de las raíces, desde la que el agua puede llegar por ascenso capilar hasta aquellas. Se adoptó el valor de $\Delta = 0{,}30$ cm, de forma que las especies vegetales de poca profundidad de enraizamiento, al menos cuenten con esa profundidad extra para la captación de agua del subsuelo.

XXIV.7.1.3.- Profundidad Radicular (PR)

Con los **cultivos** se adoptaron las profundidades para ellas establecidas.

Para la **vegetación** sólo se dispuso de la profundidad radicular de algunas especies. Con dicha información contrastada con sus alturas respectivas se construyó una función de relación, en base a la cual se estimaron las profundidades radiculares en el resto de las especies vegetales del mapa de vegetación de la isla.

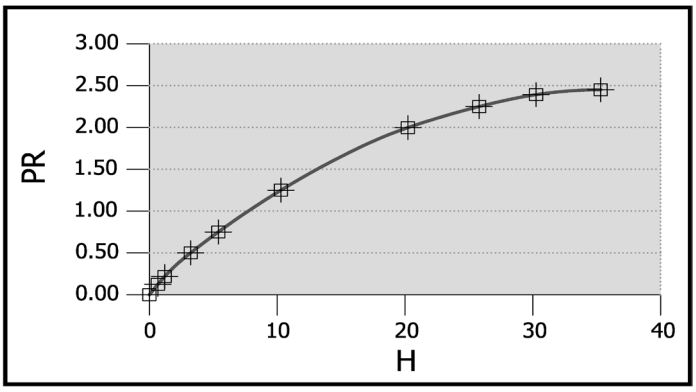


Figura 193. Valores de la Profundidad Radicular en función de la altura de la planta.

$$\mathbf{PR} = -0{,}0019 \bullet \mathbf{H}^2 + 0{,}1347 \bullet \mathbf{H} + 0{,}084$$

XXIV.7.2. Evaluación

En la tabla del mapa de «VEGETACIÓN» se crearon los campos H, PR y PA.

La Profundidad de Aprovechamiento (PA) relacionada con el coeficiente de densidad de cultivo o de vegetación (KDR) permite deducir el **coeficiente de absorción de agua de Reserva** (KR): **KR = KDR • PA**

XXIV.8. EL COEFICIENTE DE CULTIVO O DE VEGETACIÓN

«…integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo o a la vegetación natural *del pasto* a partir del cual se define la Evapotranspiración de Referencia, *el cual posee una apariencia uniforme y cubre totalmente la superficie del suelo…Expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada* o de la vegetación natural *y la superficie de pasto de referencia»*[15]

XXIV.8.1. Evaluación

XXIV.8.1.1.- En los cultivos

Para la asignación de los valores del coeficiente de cultivo (Kc) se tuvo la fortuna de contar en la isla con un excelente trabajo de investigación que contemplaba, entre otros, la evaluación de dicho coeficiente para distintas especies de cultivo; lo que nos ha permitido disponer de hasta 25 valores entre especies aisladas y asociaciones de cultivos[16]. Otros datos similares, deducidos por la entidad AGROCABILDO, han completado la tabla final hasta 35 valores de Kc.

XXIV.8.1.2. En la vegetación natural

En cuanto a la vegetación natural, se han considerado tres bloques generales, producto de la agregación de los seis pisos principales de vegetación:

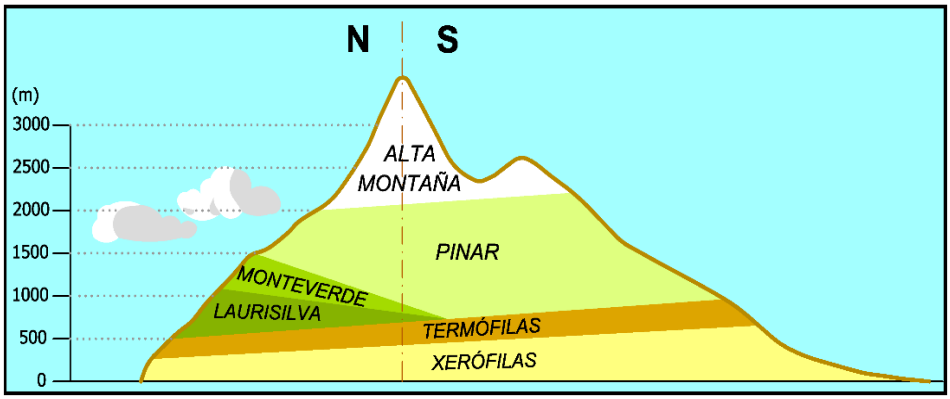


Figura 194 Principales pisos de vegetación en la isla de Tenerife

1. **Alta montaña**: retamar, violeta del Teide, tajinastes, ….
2. **Bosques**
   - **Pinar**, aislado o formando comunidades

[15] EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos – ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56

[16] Santana Ojeda, J. L. y Suárez Sánchez, C. L. - Asesoramiento de riego para cultivos.

- **Fayal-Brezal**: cedros, bejeques, escobones, sauce canario, helechos, aceviños, fayas,..
- **Laurisilva**: tilos, laureles, madroños, viñátigos, escobones, adernos, …
- **Termófilo**: cardos, almácigos, palmeras, dragos, mocanes, acebuches,…

3. **Plantas xerófilas** del piso inferior: tabaibas, cardones, guaidiles, tarajales,…

Para los bosques, en general, se adoptaron valores comprendidos entre 0.95 y 0.98, asumiendo los que se usaron en el modelo hidrológico distribuido SIMPA[17] para *afectar los mapas de ETP según Penman-Monteith.* Tales valores fueron *obtenidos a partir de los usos del suelo procedentes de CORINNE LAND COVER …y asignados a cada clase del suelo mediante balances hídricos en cuencas aforadas*. (tabla adjunta)

Tipo de uso del suelo	Coeficiente de cultivo
Espacios con poca vegetación	80%
Tierras de labor	87%
Sistemas agrícolas heterogéneos	91%
Cultivos permanentes	93%
Vegetación arbustiva	95%
Bosque mixto	97%
Bosques de frondosas y coníferas	98%
Zonas húmedas, superficies de agua y artificiales	100%
Praderas	100%

Tabla 58. Coeficiente reductor de la ETP. Aplicado en el modelo hidrológico distribuido SIMPA

El piso de vegetación inferior se corresponde con plantas xerófilas, típicas de territorios con climas áridos o semiáridos donde su adaptación a la escasez de agua se debe a que cuentan con dispositivos que les facilitan la absorción de agua y disminuir la evaporación. Lógicamente, los valores de Kc son bajos[18].

Culminando la isla la vegetación de alta montaña se ve sometida a unas severas condiciones climáticas, pues además de la escasez de precipitaciones son característicos: los fuertes vientos, el gran número de días despejados y por tanto de insolación, las nevadas, las heladas, la acentuada oscilación térmica, … Elementos estos que afectan a los valores de Kc en ambos sentidos. En general, se han adaptado valores de Kc ligeramente inferiores a los contemplados para la zona de bosques.

[17] Evaluación de los recursos hídricos en el LIBRO BLANCO DEL AGUA – T. Estrela, F. Cabezas y F. Estrada, 1999; SIMPA: Sistema Integrado de Modelización Precipitación Aportación – Estrela y Quintas, 1996; Cabezas et al., 2000; Ruiz, 2000

[18] En alguna bibliografía se aportan valores de hasta el 45%. No obstante, en la tabla precedente se adopta un valor del 80% para *Espacios con poca vegetación,* como es el caso, por lo que se ha procurado no separarse en exceso de dicho valor dado que, además, en el procedimiento de cálculo de la ETP se afecta a Kc con el factor de densidad.

XXIV.8.1.3. Tabla de valores del Kc en la vegetación natural

Las tres parcelas de clasificación han dado lugar a una Tabla de valores de Kc con más de 140 elementos. La tabla adjunta contiene una **muestra** de los valores de Kc, relativos a los cultivos y la vegetación natural representativos de la isla, que se aplican en el MHSup.

VALORES DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) EN EL MHSup			
CULTIVOS		**VEGETACIÓN NATURAL**	
A. Citricos-Hortalizas	**0,76**	Almacigal	**0,75**
A. Platanera-Citricos	**0,81**	Balera	**0,60**
A. Viña-Citricos	**0,71**	Cañaveral	**0,95**
A. Viña-Hortalizas	**0,75**	Cardonal tinerfeño	**0,70**
A. Viña-Papa	**0,83**	Cerrillal-panascal	**0,75**
Aguacate	**0,58**	Cipreses	**0,95**
Almendro	**0,65**	Cipreses y eucaliptos	**0,95**
Cereal varios	**0,84**	Codesar de cumbre	**0,75**
Citricos	**0,72**	Vegetación de alta montaña	**0,65**
Frutales Subtropicales	**0,83**	Escobonal	**0,98**
Frutales Templados	**0,82**	Eucaliptal	**0,95**
Hortalizas	**0,81**	Fayal-brezal	**0,98**
Leguminosas	**0,70**	Helechal	**0,98**
Mango	**0,80**	Herbazales	**1,00**
Millo	**0,93**	Jaral o jaguarzal tinerfeño	**0,90**
Ornamentales	**0,95**	Monteverde higrófilo	**0,99**
Papa	**0,92**	Monteverde húmedo	**1,00**
Papaya	**0,80**	Palmeral	**0,75**
Platanera	**0,91**	Pinar	**0,99**
Subtropical varios	**0,80**	Sauzal	**0,98**
Templados varios	**0,81**	Tabaibal amargo	**0,65**
Tomate	**0,87**	Tunerales	**0,65**
Viña	**0,70**	Zarzal	**0,90**

Tabla 59. Muestra de valores de coeficientes de cultivo (Kc) aplicados en el MHSup

CAPÍTULO XXV
VARIACIÓN EN EL TIEMPO DEL VALOR DE LOS PARÁMETROS ESPECÍFICOS DE LA ESCORRENTÍA

XXV.1. INTRODUCCIÓN

En el proceso de evaluación de la escorrentía superficial intervienen tres parámetros fundamentales –en dos de ellos se ha definido su valor «característico»– que ha habido que adaptar a las peculiaridades de la hidrología insular:

- el **intervalo de tiempo** de medida de las variables climáticas e hidrológicas
- el umbral de escorrentía (PØ) según el **estado de humedad** del suelo
- el umbral de infiltración en cauces (IØ) en relación la **capacidad de infiltración** del lecho del cauce.

XXV.2. EL MES Y EL DÍA COMO LAPSOS OPERATIVOS

XXV.2.1. Consideraciones

Los modelos de simulación hidrológica similares al que nos ocupa han venido operando con el **mes** como lapso temporal de referencia, tanto respecto de los datos de entrada que los alimentan, como los de las salidas que aportan como resultados. Ahora bien, en nuestro caso, las características climáticas, geomorfológicas, … de la isla hacían imprescindible usar el día -al menos a la hora de establecer el balance en el suelo- tal como hemos venido defendiendo a lo largo de las páginas de este libro.

La escorrentía superficial no es significativa –apenas representa algo más del 2% de la pluviometría y su aprovechamiento no llega al 0,5%– por lo que de haber adoptado también el mes en la evaluación de esta variable hidrológica, los posibles desvíos cometidos al definir el Balance Hídrico Insular (BHI) habrían sido imperceptibles. Ahora bien, una visión menos global ponía de manifiesto aspectos de esta variable que debían ser analizados con cierto detalle.

Una de las razones, si no la principal, que nos llevó a adoptar la periodicidad diaria en el proceso de evaluación de la escorrentía fue disponer de la opción en el MHSup de poder evaluar los aprovechamientos de aguas superficiales existentes en la isla. La mayor parte de ellos consisten en tomaderos instalados en los cauces desde los que se deriva hasta una balsa el agua captada, a través de un conducto de aducción. Tales aprovechamientos se encuentran parcialmente controlados por sus gestores; la mayoría por BALTEN y el resto por particulares. Con la información aportada por este organismo, aún sin ser completa, se calibraron los parámetros hidrológicos concernientes a las cuencas hidrográficas vertientes a los tomaderos, lo que permitió y permite:

- el ajuste de esos parámetros hidrológicos en otras cuencas afines
- evaluar las aportaciones de agua de escorrentía derivadas desde los cauces

hasta las balsas a partir de los registros de pluviometría, en aquellos casos en los que no se cuenta con datos de aforo en ninguna de las dos infraestructuras.

En los balances hidráulicos, la oferta hídrica disponible en la isla no está completa si no se complementa con el volumen de aguas superficiales aprovechadas; dato éste que ha habido que deducir, en muchos casos, a partir del MHSup. Ahora bien, como vimos en el bloque dedicado a estos aprovechamientos, su análisis requiere conocer el desarrollo en el tiempo de las avenidas, es decir sus hidrogramas, al menos a escala diaria. Lamentablemente, en las fechas de construcción del MHSup, la disponibilidad de registros diarios de precipitación se concentraba en las zonas de costa y medianías; en la de cumbre o de monte, donde precisamente la isla recibe las mayores lluvias, apenas se contaba con dos o tres estaciones. Sin embargo, en esta zona sí existía una excelente red de registros pluviométricos mensuales. Aunque el MHSup había sido concebido para trabajar a escala mensual podía implementársele una aplicación, relativamente sencilla que, al menos de forma virtual, considerara el día en los cálculos de la escorrentía.

XXV.2.2. Desagregación de la lluvia mensual en aguaceros diarios

En las estaciones de lectura mensual se introdujeron series relativas al número de días de lluvia al mes; información que se extrapoló desde las estaciones de lectura diaria más cercanas. A partir de tales series y de las de lluvia mensual se construyó un algoritmo que desagrega lecturas mensuales en datos diarios. La «fórmula» propuesta se construyó con ese único propósito.

Se analizaron un buen número de temporales históricos. De la amplia muestra consultada se seleccionaron las que podrían considerarse distribuciones «patrón», tanto en cuanto al número de aguaceros (NDPC) como en el reparto de la lluvia total (PC)[19]. Se adoptó una función que distribuye la lluvia mensual (PCm) en aguaceros diarios (PC(j)):

Desde j = 1 hasta j = NDPm,n se calculan los PC1, PC2, PC3,…PCj

$$\mathbf{PC}(j)(m) = (\mathbf{PC}m - \sum_{1}^{j-1} \mathbf{P}(j)(m) \bullet [11 - (\mathbf{NDPC}m + \mathbf{1} - \mathbf{j})] / 10$$

A modo de «demo», se ha aplicado la función a un temporal de 100 L/m^2 de distintos días de duración obteniendo las desagregaciones siguientes:

[19] Los más usuales, al menos entre los consultados (anteriores a 1995), solían hacer su descarga más intensa el primer día de su arribo a la isla.

NP	PC(j) PRECIPITACIÓN EN CADA AGUACERO DIARIO (mm)									
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
1	**100,0**									
2	**90,0**	**10,0**								
3	**80,0**	**18,0**	**2,0**							
4	**70,0**	**24,0**	**5,4**	**0,6**						
5	**60,0**	**28,0**	**9,6**	**2,2**	**0,2**					
6	**50,0**	**30,0**	**14,0**	**4,8**	**1,1**	**0,1**				
7	**40,0**	**30,0**	**18,0**	**8,4**	**2,9**	**0,6**	**0,1**			
8	**30,0**	**28,0**	**21,0**	**12,6**	**5,9**	**2,0**	**0,5**	**0,1**		
9	**20,0**	**24,0**	**22,4**	**16,8**	**10,1**	**4,7**	**1,6**	**0,4**	**0,0**	
10	**10,0**	**18,0**	**21,6**	**20,2**	**15,1**	**9,1**	**4,2**	**1,5**	**0,3**	**0,04**

Tabla 60. Temporal de lluvia desagregado en aguaceros diarios con varias opciones de duración

XXV.3. PØ Y EL ESTADO DE HUMEDAD DEL SUELO.

XXV.3.1. Los estados de humedad del suelo

El U.S. Soil Conservation Service (SCS) estableció una relación entre la precipitación (PC) de un aguacero y la aportación de escorrentía **directa** (AE) generada por éste, en la que interviene el parámetro Número de Curva (CN) que a su vez está relacionado con el umbral de escorrentía (PØ).

La expresión de relación original traducida a la versión con PØ es:

$$AE = (PC - P\text{Ø})2 / (PC + 4 \bullet P\text{Ø})$$

Para definir el valor de PØ se acordaron tres niveles del estado de humedad del suelo en función de la lluvia recibida los **5** días anteriores al suceso del aguacero en cuestión.

Las tablas de valores de PØ, construidas al efecto, comportan condiciones medias de humedad. En correspondencia con ellos, en el gráfico adjunto se señalan los de situaciones extremas de humedad inicial: suelos *casi secos* y suelos *muy húmedos*.

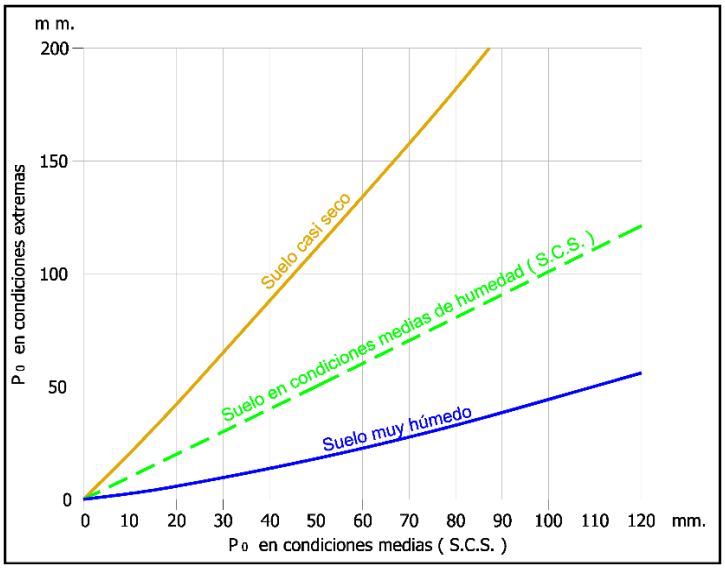


Figura 195. Valores de PØ en función del estado de humedad del suelo

Los valores extremos: seco (PØ(s)) y húmedo (PØ(h)) se relacionan con el valor medio o característico de una cuenca (PØ(c)), mediante las expresiones[20]:

$$PØ(s) = \mathbf{2{,}38} \bullet PØ(c)$$

$$PØ(h) = \mathbf{0{,}43} \bullet PØ(c)$$

Aplicando el Umbral que corresponda a la totalidad de la lluvia (PC) o a las precipitaciones acumuladas en cada intervalo del hietograma se deduce la escorrentía directa (**AE**) generada por una lluvia de **PC** mm y un tiempo **t** de duración.

XXV.3.2. PØ y los estados de humedad en las cuencas insulares

Cuando se consideró la posibilidad de simular la hidrología insular mediante su modelización matemática ya se tenía conciencia de que los procedimientos establecidos para el cálculo de determinados parámetros no eran aplicables, tal cual, en las islas. Uno de esos procedimientos era precisamente la evaluación del valor del umbral de escorrentía, tanto a escala mensual como de aguaceros diarios.

En la isla no se cuenta con estaciones de aforo que aporten datos de caudales con los que hacer el contraste lluvia-aportación para deducir coeficientes o umbrales de escorrentía. Sin embargo, existen otros medios —«artesanales» pero efectivos— que se usaron para éste y otros fines. Uno de ellos es el que, intencionadamente y a modo de ejemplo, relatamos en las páginas que siguen, pues experiencias como la que se describe y otras parecidas pusieron de manifiesto, respecto del tema que nos ocupa, la necesidad de complementar con algunos ajustes las metodologías al uso. Realmente sólo se trata de «ajustes», pues no hay

[20] Hidrología Aplicada – Ven Te Chow; David R. Maidment y Larry W. Mays - 1994

un alejamiento total de dicha metodología ya que se asume lo esencial y sólo se matiza alguna premisa de partida que en la isla no se cumple. Apoyados en los datos que nos aportaban tales experiencias construimos los algoritmos con los que se llevaron a cabo los citados «ajustes».

XXV.3.3. PØ y los estados de humedad en una cuenca piloto

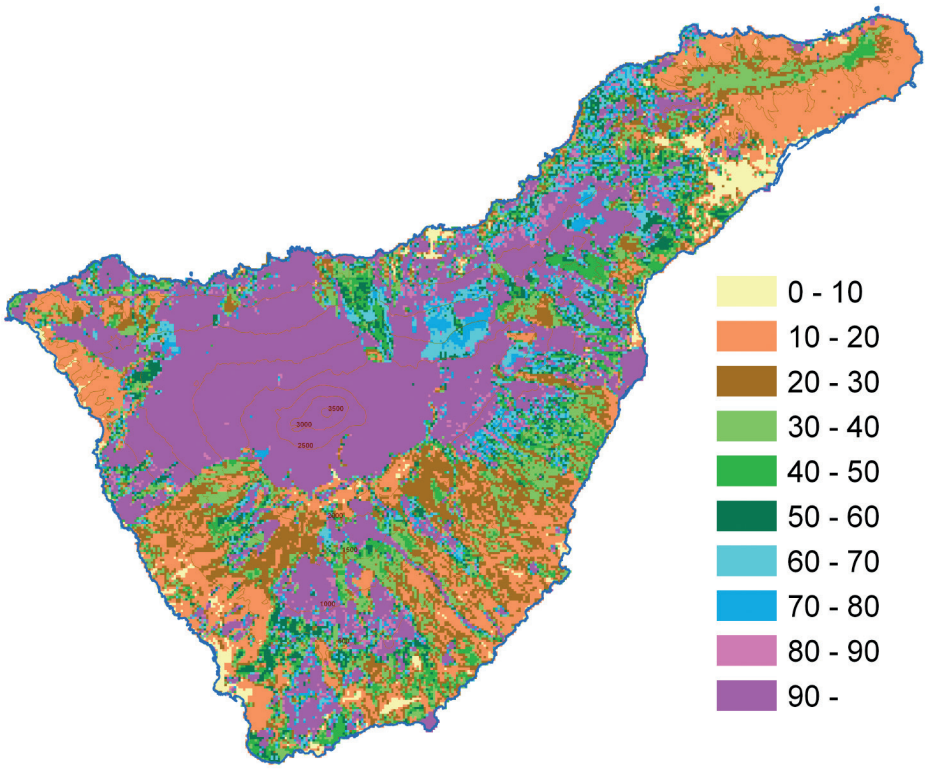


Figura 196. Mapa de Umbrales de Escorrentía Característicos (PØ)

XXV.3.3.1. Toma de datos

En el apartado X.4.1 del bloque II de este libro dedicado a la definición del Umbral de Escorrentía, se comentaba que su valoración en campo se había realizado mediante el seguimiento de las escorrentías en varias cuencas «piloto». Una de ellas fue la del barranco de Tabares en el lugar vertiente a la presa que almacena parte de sus escorrentías[21]. La toma de datos se llevó a cabo durante los años 1991, 1992 y 1993 con vistas al estudio –dentro del Plan Operativo de Los Campitos– del posible aprovechamiento de las escorrentías de esa cuenca y de otras vecinas.

[21] En el apartado X.4.1 se aportan referencias gráficas de algunos de los controles del nivel de embalse en la presa realizados durante el temporal de lluvias de diciembre de 1992.

Precisamente en dicho estudio se comprobó –a partir de las referidas visitas de campo– que el umbral característico (PØ(c)) de la cuenca del barranco de Tabares con el suelo en «*condiciones medias de humedad*» es de **12,5** mm. Consecuentemente, sus respectivos valores en condiciones extremas deberían ser:

Umbral de escorrentía con suelo «*casi seco*»: **PØ(s)** = 2,38 • PØ(c)= **29,75** mm

Umbral de escorrentía con suelo «*muy húmedo*».: **PØ(h)** = 0,43 • PØ(c)= **5,37** mm

En la tabla siguiente se reflejan las medidas del nivel del agua[22] (NE) junto con los **volúmenes almacenados** (VE) –deducidos éstos a partir de la curva de embalse de la presa– así como las precipitaciones registradas (PC) en siete episodios de lluvia ocurridos entre octubre de 1992 y febrero de 1993.

También se incluyen los **aportes de agua de escorrentía** (AE) que entraron cada día a la presa; incluidos los de escorrentía indirecta una vez acabadas las lluvias. Tanto unos como otros se corresponden con el incremento de embalse diario (Δembalse). La relación entre este incremento y la lluvia (Δembalse/PC) no es sino el **coeficiente de escorrentía** (Co) –en tanto por ciento– de la cuenca, relativo a la lluvia del día, aunque algo sobredimensionado debido a que a la aportación del aguacero se le superponía la escorrentía indirecta de los precedentes.



Figura 197. Controles del nivel de embalse en la presa de Tabares

[22] En negrita los días que se hicieron controles del nivel en la presa

Día	PC mm	PC m^3	PC acu	NE m	VE m3	ΔE m3	ΔE acu	Co	PØ(j)
12/10	12	11.760		*3*	*5.545*				*¿?*
13/10	25	24.500		*3,55*	*5.996*	*451*		1,8	19,0
14/10	16	15.680		*3,7*	*6.155*	*159*		10,0	13,5
15/10	40	39.200	**1º**	8,05	17.532	11.377		29,0	9,5
16/10 – 23/10		0	**92**	8,10	17.738	203	**12.190**	Esc. Ind acu	
24/10	8	7.840	**2º**	8,10	17.738	0			
25/10	8,5	8.330	**16,5**	8,10	17.738	0	0		
26/10 – 30/10		0	**3º**			0			
31/10	18	17.640	**18**	8,30	18.583	845	**419**	4,0	11,0
01/11 – 16/12		0		8,20	18.157	-426		¿pérdidas?	
17/12	19	18.620		8,20	18.157	0	0		>20
18/12	23	22.540		8,65	20.127	1.970		8,7	11,5
19/12	22	21.560		9,10	22.236	2.109		9,7	10,5
20/12	14	13.720		9,45	23.973	1.737		12,6	6,5
21/12	7	6.860		9,60	24.744	771			
22/12	34	33.320		11.5	35.850	11.106		33,3	8,0
23/12	24	23.520		12,60	43.417	7.567		32,1	5,5
24/12	6,5	6.370	**4º**	12.90	45.626	2.209		Esc. Ind acu	
25/12 **- 28/12**		0	**150**	13,05	46.754	1.128	**28.807**	Esc. Ind acu	
29/12	18,5	18.130		13,70	51.821	5.067		27.0	4,5
30/12	10,5	10.290	**5º**	14.10	55.085	3.264		31,0	2,5
04/01	0		**29**	14.30	56.758	1.673		Esc. Ind acu	
05/01 – 29/02		0		14,25	56.337	-421		¿pérdidas?	
30/01	21	20.580		14,25	56.337	0			>21
31/01	11	10.290		*¿?*	*¿?*	*¿?*			
01/02	21	20.580		14,60	59.319	2..561		12.0	9,0
02/02	9,5	9.310	**6º**	14,75	60.624	1.305		14,0	3,5
03/02 – 05/02		0	**62**	14,80	61.062	438		Esc. Ind acu	
06/02	16	15.680	**16**	14,95	62.386	1.324		8,0	8,5
07/02	0	0		14,95	61.943				

Tabla 61. Controles del nivel en la Presa de Tabares entre 10/1992 y 02/1993.

Además, se ha deducido el **umbral de escorrentía** (PØ(j)) que correspondió a cada día de lluvia; en este caso ligeramente infravalorado por la misma razón[23].

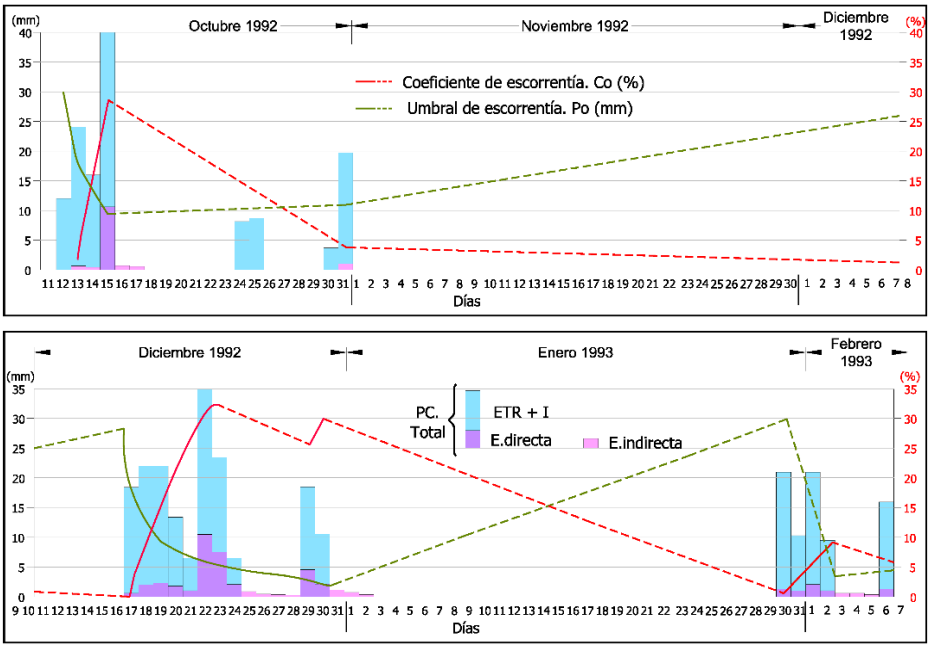


Figura 198. Distribución en aguaceros diarios de la lluvia entre octubre de 1992 y febrero de 1993 en la cuenca del barranco de Tabares

Con los datos de la tabla se ha construido el gráfico adjunto. Admitiendo un cierto margen de desvío[24], de la tabla y el gráfico se extraen conclusiones, no sólo relativas a la cuenca hidrológica del barranco de Tabares y sus homólogas de Anaga y Teno[25], sino otras más generales aplicables al «procedimiento».

XXV.3.3.2. Análisis y conclusiones de la experiencia

1. De la envolvente a los tres valores de PØ medidos durante el temporal se deduce que el valor del PØ(**s**) alcanza al menos **30** mm; coincidente con el que se obtiene de aplicar al PØ(c) de la cuenca la relación: 2,38 • 12,5 = **29,75** mm.
2. Para que el suelo de la cuenca adquiera la condición de «*casi seco*» o «seco» tienen que transcurrir **más de cinco días sin lluvia.**

---

[23] Por esta circunstancia hemos prescindido de los valores de Co y Po en los aguaceros de menor precipitación.

[24] Los medios de medición de los niveles del agua no permitían precisar al centímetro,…

[25] ambas de características geomorfológicas similares y en las que se genera casi las **tres cuartas partes** del agua de escorrentía que vierte al mar

3. Al cabo de un mes sin lluvia el umbral de escorrentía, cualquiera que haya sido el estado inicial de humedad del suelo, alcanza el valor de «*casi seco*» (PØ(**s**))
4. Los pequeños aguaceros (24 y 25/10/1992) que no generan escorrentía contribuyen, al menos, a mantener el valor del Umbral.
5. El valor extremo en condiciones de suelo «*muy húmedo*» es inferior al que se deduce a partir de la relación: 0,43 • 12,5 = 5,37 mm > 2,5 mm
6. El valor del umbral de escorrentía (PØ) se reduce aguacero tras aguacero.
7. La variación de PØ con el transcurso de los aguaceros puede establecerse mediante una función que contemple los umbrales de la propuesta del SCS.

XXV.3.4. Otras experiencias

En algún otro apartado se ha comentado que en la presa del barranco de Tahodio, también en Anaga, durante algunos meses se llevó a cabo una experiencia similar a la descrita; en este caso los niveles se tomaban desde la coronación de la presa.

En la extensa franja de **la corona forestal del vértice sur de la isla** –una zona muy distinta y distante de Anaga– un buen número de cauces de barranco discurren entre rocas fonolíticas, en general muy impermeables, que dan lugar a corrientes de agua de escorrentía a partir de registros de lluvia no necesariamente altos.



Figura 199. Aguas de escorrentía en el barranco de La Magdalena (enero de 1996)

Una de estas cuencas es la que vierte sobre el barranco de La Magdalena en el municipio de Vilaflor. Fue ésta también una cuenca «piloto» en la que se controlaron, a estima, caudales circulantes de agua de escorrentía con el objetivo, entre otros, de contrastarlos con los registros de lluvia y aproximar los valores del umbral de escorrentía correspondientes a cada aguacero.

También se dispuso, prácticamente desde el inicio de la actividad de BALTEN, de los caudales mensuales y diarios de agua de escorrentía recibidos por sus balsas.

XXV.4. EL UMBRAL DE ESCORRENTÍA DEL MES (PØ(M))

XXV.4.1. Concepto

Venimos reiterando que el MHSup trabaja con series mensuales; sólo cuando se plantea el «balance en el suelo» o el cálculo de la escorrentía superficial se opera con el día, desagregando la lluvia mensual en tantos aguaceros diarios como días de lluvia (con PC>= 1mm) se contabilicen en el mes.

El valor del umbral de escorrentía con el suceso del primer aguacero del mes «m» coincide con el correspondiente al último del mes anterior: PØ(1)(m) = PØ(j)(m-1) siempre y cuando el estado de humedad del suelo haya sido el mismo en ambos sucesos de lluvia; no obstante, lo normal es que entre uno y otro haya transcurrido tiempo suficiente para que se modifique dicho estado. A continuación del primer aguacero, los siguientes encontrarán el suelo más húmedo, haciendo decrecer sucesivamente el umbral de escorrentía.

Para facilitar el cálculo de los umbrales diarios (PØ(j)) se incorporó al proceso el que sería el umbral de escorrentía del mes (PØ(m)), al que hicimos corresponderse con el del primer aguacero: PØ(m) = PØ(1)(m). El valor de PØ(m) es función pues del de PØ(j)(m-1) y de las condiciones de humedad del suelo al inicio del mes «m» como consecuencia de la ocurrencia de lluvia convencional (PC) u horizontal (PAN) en el mes precedente (m-1).

La afección al estado de humedad del suelo de ambos tipos de lluvia ha sido evaluada en el MHSup de la forma que se expone en los siguientes apartados.

XXV.4.2. La humedad aportada al suelo por la PAN

XXV.4.2.1. Ambito territorial y temporal de la PAN

La lluvia horizontal o Precipitación de Agua de Niebla (PAN) aporta al suelo que la recibe una humedad extra a la que le proporciona la lluvia directa o Precipitación Convencional (PC); incluso en la mayor parte del año no comparten ese cometido y únicamente la primera lo mantiene activo.

Ahora bien, la mayor producción de PAN se concentra en las inmediaciones de las crestas que culminan los límites de cuenca, entre las cotas de 800 y 1.500 metros. Por otro lado, la mayor ocurrencia del fenómeno se localiza entre finales de primavera e inicios de otoño, afectando fundamentalmente a las cabeceras de las cuencas de la Península de Anaga y el Macizo de Teno; justo cuando en esa época ambos enclaves reciben menos aportes de lluvia convencional. Por tanto, si bien es cierto que los suelos que reciben este recurso llegan a humedecerse hasta el punto de generar pequeños cursos de escorrentía, en contados lugares y en pocas ocasiones coincide la lluvia con esta situación; razones por las cuales es, además, muy difícil contar con datos objetivos que permitan disponer de, al menos, un orden de magnitud respecto de la cantidad de agua de niebla que debe precipitar sobre el suelo para que este adquiera la condición de «*muy húmedo*». No obstante, era de rigor tomar esta circunstancia en consideración y evaluarla con criterio.

XXV.4.2.2. Afección de la PAN al umbral de escorrentía

Durante los meses de estío es normal ver «correr» el agua en los metros iniciales de los cauces de los barrancos de Anaga; se trata de cursos de agua de escorrentías alimentados casi de continuo por la PAN. El agua de lluvia de un temporal de verano encontraría el suelo de laderas y cauces en condiciones óptimas para reconvertirse en agua de escorrentía. En esos meses se deducen valores de hasta 150 mm de agua de niebla sobre la zona. Se convino pues que una tasa de **150** mm/mes de PAN da lugar a condiciones de suelo «*muy húmedo*».

XXV.4.2.3. Factor de ajuste al umbral de escorrentía del mes

A partir de esta premisa y después de varias pasadas de calibración, se convino que el factor de ajuste (KPAN.PØ(m)) del valor de el umbral de escorrentía correspondiente al mes «m» (PØ(m)) en función del estado de humedad del mes anterior como consecuencia de la lluvia horizontal recibida dicho mes por el suelo (PAN(m-1)), podía definirse mediante una sencilla función lineal:

$$\textbf{KPAN}.\textbf{P}\text{Ø}(m) = -0{,}013 \bullet \textbf{PAN}(m-1) + 2{,}38$$

$$\text{Si KPAN.P}\text{Ø}(m) < 0.43 \rightarrow \text{KPAN.P}\text{Ø}(m) = 0.43$$

De esta forma:

$$>150 \text{ mm/mes de PAN}(m-1) \rightarrow \text{KPAN.P}\text{Ø}(m) = 0{,}43$$

$$100 \text{ mm/mes de PAN}(m-1) \rightarrow \text{KPAN.P}\text{Ø}(m) \approx 1{,}00$$

$$0 \text{ mm/mes de PAN}(m-1) \rightarrow \text{KPAN.P}\text{Ø}(m) = 2{,}38$$

XXV.4.3. La humedad aportada al suelo por la PC

XXV.4.3.1. Consideraciones

Con el mismo criterio podría establecerse el nivel de humedad del suelo en un mes determinado en función de la precipitación convencional (PC) recibida el mes anterior; sin embargo, la operación en este caso es mucho más compleja.

La PAN se caracteriza por su regularidad. Por lo general, cada uno de los días en los que el fenómeno hace acto de presencia la tasa diaria de PAN oscila en una horquilla de valores muy estrecha; el persistente goteo, un día tras otro, humedece el suelo casi sin dar a tiempo a que se seque; circunstancia que no ocurre con la PC. Con un mismo registro de lluvia el suelo alcanza estados de humedad diferentes según haya sido el número de días de duración del temporal. Entendemos pues que, en este caso, además de la cantidad de lluvia registrada en el mes anterior, también hay que considerar el número de días en los que se ha producido esa lluvia (NDPC); cuestión ésta que hemos resuelto a partir de la observación del desarrollo de los temporales y las corrientes de escorrentía en varias experiencias de campo.

Una de ellas fue la llevada a cabo en la cuenca hidrográfica del barranco de Tabares, descrita en apartados precedentes:

- En octubre de 1992, **92** mm de lluvia repartidos en **4** aguaceros diarios dieron lugar a que el valor del umbral de escorrentía de la cuenca descendiera desde el máximo (*casi seco*) hasta por debajo del de condiciones *medias de humedad*.
- En el mes de diciembre de 1993, **8** aguaceros sumaron **150** mm de lluvia rebajando el valor del umbral de escorrentía desde el máximo (*casi seco*) hasta el cerca del mínimo (*muy húmedo*) al final del temporal.

XXV.4.3.2. Afección al umbral de escorrentía

A fin de mantener criterios semejantes se acordó que **150** mm de PC afectarían a la humedad del suelo en los mismos términos que 150 mm de PAN siempre y cuando aquella se hubiera repartido, al menos, en 10 aguaceros.

La consideración del NDPC para la definición del grado de humedad del suelo después de un temporal ha requerido establecer las siguientes equivalencias:

- Un temporal de 5 aguaceros y PC mm de lluvia genera el mismo estado de humedad que un temporal de 10 aguaceros y 0,7 • PC mm de lluvia:
- Un temporal de 1 aguacero y PC mm de lluvia genera el mismo estado de humedad que un temporal de 10 aguaceros y 0,5 • PC mm de lluvia:

Significa esto, que a los efectos de definición del estado de humedad del suelo a final de mes se opera siempre con temporales de 10 días de duración, haciendo reconversiones semejantes a las precedentes.

Afectando a la PC total de un temporal de varios días de duración (entre 1 y 10) con el factor: KPC.NDPC = 0,0011 • NDPC² + 0.0433 • NDPC + 0,4556 «reconvertimos» aquel en un temporal de 10 días que habría registrado PC(hs) mm de agua de lluvia:

$$\mathbf{PC}(hs) = KPC.NDPC \bullet PC =$$
$$= (0{,}0011 \bullet \mathbf{NDPC^2} + 0.0433 \bullet \mathbf{NDPC} + 0{,}4556) \bullet \mathbf{PC}$$

XXV.4.3.3. Factor de ajuste al umbral de escorrentía del mes

Ahora, el factor de ajuste (KPC.PØ(m)) a aplicar a PØ(m) en función del estado de humedad del mes anterior, se deduce a partir de la PC recibida por el suelo dicho mes, reconvertida a PC(hs)(m-1):

$$\mathbf{KPC.P}\text{Ø}(m) = -0{,}013 \bullet \mathbf{PC}(hs)(m\text{-}1) + 2{,}38$$
$$\text{Si } KPC.P\text{Ø}(m) < 0.43 \rightarrow KPC.P\text{Ø}(m) = 0.43$$

PC(hs)(m-1): la lluvia convencional recibida por el suelo en el mes anterior pero ajustada según el número de días de lluvia habidos en ese mes

De esta forma:

$$>150 \text{ mm/mes de } PC(hs)(m\text{-}1) \rightarrow KPC.P\text{Ø}(m) = 0{,}43$$
$$100 \text{ mm/mes de } PC(hs)(m\text{-}1) \rightarrow KPC.P\text{Ø}(m) \approx 1{,}00$$
$$0.0 \text{ mm/mes de } PC(hs)(m\text{-}1) \rightarrow KPC.P\text{Ø}(m) = 2{,}38$$

También en este caso, el valor de KPC.PØ(m) se limita al de los valores extremos de los umbrales establecidos por el US.SCS

XXV.4.4. El umbral de escorrentía del mes: **P**Ø(m)

XXV.4.4.1. Con respecto a la humedad que aporta al suelo la PAN

El valor del umbral de escorrentía en un mes cualquiera, según el estado de humedad –proporcionada por la PAN– del suelo (PØ.PAN(m)), se corresponde con el umbral asociado al último aguacero del mes anterior (PØ(j)(m-1)) una vez afectado con el factor de humedad (KPAN.PØ(m)):

$$\mathbf{P}\text{Ø.PAN(m)} = \mathbf{KPAN.P}\text{Ø(m)} \bullet \mathbf{P}\text{Ø(j)(m-1)}$$

$$\text{Si } \mathbf{P}\text{Ø.PAN(m)} < 0{,}43 \bullet \text{PØ(c)} \rightarrow \mathbf{P}\text{Ø.PAN(m)} = 0{,}43 \bullet \mathbf{P}\text{Ø(c)}$$

$$\text{Si } \mathbf{P}\text{Ø.PAN(m)} > 2{,}38 \bullet \text{PØ(c)} \rightarrow \mathbf{P}\text{Ø.PAN(m)} = 2{,}38 \bullet \mathbf{P}\text{Ø(c)}$$

KPAN.PØ(m) es el factor de humedad debido a la PAN (apartado XXV.4.2.3)

PØ(c) es el umbral de escorrentía característico del suelo afectado.

XXV.4.4.2. Con respecto a la humedad que aporta al suelo la PC

De la misma forma, el umbral de escorrentía del mes «m», según las condiciones de humedad del suelo a causa de la PC es función del umbral de escorrentía que correspondió al último aguacero del mes anterior (**P**Ø(j)(m-1)).

$$\mathbf{P}\text{Ø.PC(m)} = \mathbf{KPC.P}\text{Ø(m)} \bullet \mathbf{P}\text{Ø(j)(m-1)}$$

$$\text{Si } \mathbf{P}\text{Ø.PC(m)} < 0{,}43 \bullet \text{PØ(c)} \rightarrow \mathbf{P}\text{Ø(m)} = 0{,}43 \bullet \mathbf{P}\text{Ø(c)}$$

$$\text{Si } \mathbf{P}\text{Ø.PC(m)} > 2{,}38 \bullet \text{PØ(c)} \rightarrow \mathbf{P}\text{Ø(m)} = 2{,}38 \bullet \mathbf{P}\text{Ø(c)}$$

KPC.PØ(m) es el factor de humedad debido a la PC (apartado XXV.4.3.3)

XXV.4.4.3. Evaluación

En la definición del valor del umbral de escorrentía al inicio de un mes deben considerarse pues las dos alternativas que alteran el estado de humedad del suelo.

$$\begin{aligned}\mathbf{P}\text{Ø(m)} &= \text{KPAN.PØ(m)} \bullet \text{PØ(j)(m-1)} + \text{KPC.PØ(m)} \bullet \text{PØ(j)(m-1)} = \\ &= (-0{,}013. \bullet \text{PAN(m-1)} + 2{,}38) \bullet \text{PØ(j)(m-1)} + \\ &\quad + (-0{,}013 \bullet \text{PC(hs)(m-1)} + 2{,}38) \bullet \text{PØ(j)(m-1)} = \\ &= \mathbf{(}-0{,}013 \bullet (\mathbf{PAN}\text{(m-1)} + \mathbf{PC}\text{(hs)(m-1)}) + 2{,}38\mathbf{)} \bullet \mathbf{P}\text{Ø(j)(m-1)}\end{aligned}$$

Haciendo, lógicamente, las acotaciones precisas.

XXV.4.5. Consideraciones finales

Hasta donde lo ha permitido el proceso de cálculo, hemos procurado ser consecuentes con las propuestas establecidas, en general para el medio continental. Las que estimamos como singularidades de esta isla, detectadas a lo largo de los años, han sido las que nos han hecho desviarnos del procedimiento tradicional aplicando nuevos algoritmos —en este caso para evaluar el umbral de escorren-

tía— con la intención de aproximar la realidad de la hidrología insular. Así lo hacemos de nuevo con la evaluación el umbral de escorrentía de los aguaceros diarios que sigue a continuación.

XXV.5. PØ APLICABLE A LOS AGUACEROS DIARIOS

El valor del umbral de escorrentía del primer aguacero de un mes «m» es el equivalente al del inicio de ese mes: **P**Ø(1)(m) = **P**Ø(m); valor que disminuye paulatinamente de un aguacero a otro. Al respecto, se construyó una función que deduce la secuencia descendente de los valores de PØ con la ocurrencia sucesiva de aguaceros a partir de una situación de suelo **seco**; valor que se hace mínimo (suelo *muy húmedo*) al cabo del décimo aguacero.

$$\mathbf{P}\varnothing(j)(m) = \mathbf{P}\varnothing(m) \;/\; \mathbf{j}^{0.75} - 0{,}05 \bullet (\mathbf{j}-\mathbf{1})^2 + \mathbf{j}/3{,}5 - 0{,}3$$

SECUENCIAS DE VALORES DE **P**o SEGÚN ORDEN DE AGUACEROS

Po: **10**	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
MHSup	**10,0**	**6,1**	**4,7**	**3,9**	**3,3**	**2,8**	**2,2**	**1,6**	**1,1**	**0,3**
SCS	**10**	**4,2**								**1,8**

Po: **20**	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
MHSup	**20,0**	**12,1**	**9,1**	**7,5**	**6,3**	**5,4**	**4,5**	**3,7**	**2,9**	**2,1**
SCS	**20**	**8,4**								**3,6**

Po: **30**	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
MHSup	**30,0**	**18,1**	**13,5**	**11,0**	**9,3**	**8,0**	**6,9**	**5,8**	**4,8**	**3,8**
SCS	**30**	**12,6**								**5,4**

Po: **50**	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
MHSup	**50,0**	**30,0**	**22,3**	**18,1**	**15,3**	**13,2**	**11,5**	**10,0**	**8,7**	**7,4**
SCS	**50**	**21,0**								**9,0**

Po: **75**	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
MHSup	**75,0**	**44,8**	**33,3**	**26,9**	**22,8**	**19,7**	**17,3**	**15,3**	**13,5**	**11,8**
SCS	**75**	**31,5**								**11,1**

Po: **100**	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
MHSup	**100,0**	**59,7**	**44,2**	**35,7**	**30,2**	**26,2**	**23,1**	**20,6**	**18,3**	**16,3**
SCS	**100**	**42,0**								**18,3**

Tabla 62. Contraste de valores del umbral de escorrentía (Po) según el MHSup y según el S.C.S.

Sin más objetivo que el de comprobar la coherencia de la función, se ha construido la tabla adjunta en la que se han deducido los valores de PØ para los 10 aguaceros sucesivos que habrían conformado un supuesto temporal que descargó sobre

7 suelos en situación de ***secos***. En una tercera fila se presentan para su contraste los valores de PØ que habrían correspondido a las tres condiciones de humedad consideradas por el S.C.S: *seca*, *media* y *muy húmeda*.

Con el suceso del 4ª aguacero el suelo está en condiciones *medias de humedad* y en el 10º día ya está *muy húmedo*.

NOTA: Con objeto de conseguir la mejor definición de un temporal que descargó, sobre todo en el Valle de La Orotava, en su día se introdujo en los cálculos del umbral de escorrentía el parámetro capacidad de retención del subsuelo (RX), como un posible indicador del estado de humedad del suelo superficial. No resultó el experimento, que además tenía que asumir ciertas lagunas conceptuales. El cálculo del umbral de escorrentía en la última versión del MHSup se hace tal como ha quedado expuesto en estas páginas, después de haber hecho partícipes directos en su evaluación a la lluvia convencional (PC) y a la horizontal (PAN).

XXV.6. IØ Y LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL CAUCE

XXV.6.1. Evaluación

Muchos cauces de la isla llegan a convertirse en vías preferentes para la **infiltración**, elemento éste del que pretendemos su más aproximada valoración y reparto territorial. Por ello se había empleado tiempo y dedicación en caracterizar la mayoría de los cauces para localizar precisamente esas vías de infiltración.

El primer paso para evaluar el agua de escorrentía que se infiltra al subsuelo a través de los cauces fue el reconocimiento exhaustivo de prácticamente todos los de primer nivel y de muchos de sus afluentes, al objeto de identificar los accidentes geomorfológicos que lo provocaban. A continuación, había que intentar cuantificar las consecuentes mermas de caudal, generadas por estos accidentes, en las corrientes de agua de escorrentía superficial en su recorrido hasta el mar.

En las visitas a cauces y embalses reseñadas en los apartados precedentes no sólo se buscaban datos que posibilitaran la definición de los coeficientes y umbrales de escorrentía; también se extraían los que pudieran dar alguna pista acerca del fenómeno de infiltración en cauce[26].

[26] Unos años antes, se había analizado e informado la posibilidad de aprovechamiento, en las balsas de BALNORTE, de las escorrentías de los barrancos de Los Camellos en Buenavista, de San Antonio en La Matanza, de Los Rodeos en Tegueste. En los tres, hubo que rectificar los puntos de captura del agua debido a las grandes pérdidas en los tramos de cauce anteriores a la localización de los tomaderos originales. Los contrainformes subsiguientes se apoyaron en el examen detallado del lecho de los cauces y el control del paso de las avenidas.
En la cornisa del **vértice sur** de la isla, entre Adeje y Arico, los cauces discurren entre y sobre rocas de fonolita de muy baja permeabilidad por lo que la infiltración es prácticamente inexistente; bruscamente, cuando aún no han cubierto ni la quinta parte de su recorrido hasta el mar, se introducen entre materiales basálticos y traquibasálticos muy alterados y de alta permeabilidad que inducen grandes pérdidas de caudal; uno de estos cauces es el del barranco de La Magdalena en Vilaflor. Con los sucesos de lluvia se hacían visitas a la cuenca de este barranco y a de otros vecinos, como el de La Vica o el del Cuervo. Aguas abajo del contacto entre los dos materiales se tomaba nota de los caudales circulantes, del horario de paso de la avenida, y de cualquier otro dato relacionado con el umbral de escorrentía **IØ** del tramo de cauce en cuestión.

De estas y de otros tipos de información nos servimos en su día para asignar a cada tramo de cauce el valor de su umbral de infiltración característico (**IØ**(c)); operación que se realizó en dos fases: en la primera versión del MHSup (1.000 • 1.000) se introdujeron los valores estimados, tal como lo hemos expuesto. En la segunda versión (200 • 200), una vez que le fueron extrapolados a las nuevas celdas los valores que tenían asignados las de 1.000 • 1.000 se creó un «modelo» con su correspondiente hipótesis con el que a base de «tanteos» y pasadas de ordenador se fueron ajustando celda a celda los valores de **IØ**(c).

Tarea esta extensa en tiempo de ocupación y muy compleja de realizar pues, pretendiendo ser coherentes con la realidad observada, el valor de **IØ**(c) debía descender conforme sucedían los aguaceros, tal como había sido observado.

XXV.6.2. Variación del valor de IØ con el suceso de las avenidas

En el proceso de calibración, celda por celda, se adoptó un valor de IØ(c) que fuera compatible con una determinada secuencia decreciente de ese valor; secuencia que definimos a partir de las siguientes premisas de partida:

El primer aguacero estaría sometido, lógicamente, al Umbral de Infiltración característico de la celda (n): **IØ**(1)(n) **= IØ**(c)(n)

Para el resto de los aguaceros (j) se acordó que el tramo de cauce que atraviese la celda en cuestión no estaría colmatado hasta que la escorrentía circulante (EC) hubiera alcanzado, al menos, la mitad del valor del Umbral de Infiltración característico de la celda.

Si EC(j-1)(n) ≤ IØ(j-1)(n) / 2 → **IØ**(j)(n) **= IØ**(j-1)(n)

Por el contrario:

Si EC(j-1)(n) > IØ(j-1)(n) / 2 → en este caso, las aguas de escorrentía tendrían más dificultad para penetrar en el subsuelo del cauce, por lo que el valor del IØ sería menor que el del aguacero anterior y así sucesivamente. No obstante, el ritmo de disminución del IØ aguacero tras aguacero, sería tanto menor cuanto mayor sea la permeabilidad del suelo de cobertera del cauce en cuestión.

Se encontró que aplicando a **IØ** el factor corrector definido por la función:

$$KDI\text{Ø}(j) = j^{(0{,}003 \times I0 - 0{,}016)} / (j)^{0{,}81}$$

se cumplían las premisas precedentes y además para el valor máximo del umbral característico el factor se hacía igual a la unidad con cualquier orden de aguacero

$$\mathbf{I\text{Ø}}(j)(n) = \mathbf{I\text{Ø}}(c)(n) \bullet (j-1)^{(0{,}003 \bullet I\text{Ø}n - 0{,}016)} / (j-1)^{0{,}81}$$

SECUENCIAS DE VALORES DE **KDIØ** SEGÚN ORDEN AGUACEROS										
IØ(c)	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
10	1,00	0,58	0,42	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16
25	1,00	0,59	0,44	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,18
50	1,00	0,63	0,48	0,39	0,34	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21
75	1,00	0,66	0,52	0,43	0,38	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25
100	1,00	0,69	0,56	0,48	0,43	0,39	0,36	0,33	0,31	0,30
150	1,00	0,77	0,66	0,59	0,55	0,51	0,48	0,46	0,44	0,42
200	1,00	0,86	0,78	0,73	0,70	0,67	0,64	0,63	0,61	0,59
275	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

Tabla 63. Valores del factor corrector de IØ con los aguaceros

- Los valores de IØ en suelos muy permeables (**I**Ø(c) muy alto) decrecen con menor cadencia que los menos permeables (**I**Ø(c) bajo o muy bajo).
- En las celdas «sumidero» (**I**Ø(c) = 275 mm) todo el agua que le llegue acaba Evapotranspirada o Infiltrada en el subsuelo.

CAPÍTULO XXVI
LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN EL MHSUP

XXVI.1. INTRODUCCIÓN

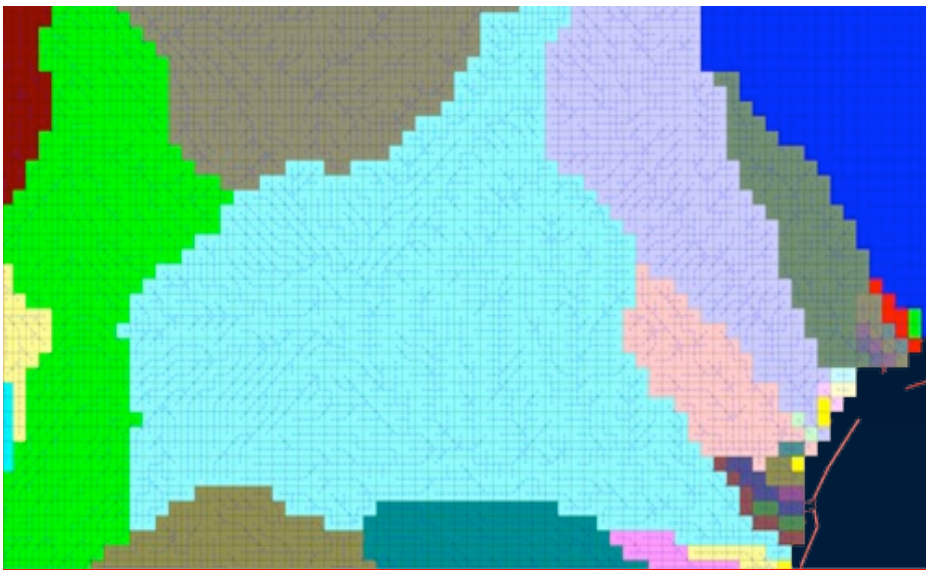


Figura 200. Cuenca del barranco de Santos discretizada en celdas de 200m • 200m.

El procedimiento general de modelización de la hidrología insular se inicia con la evaluación de la **escorrentía** cuenca a cuenca y, en cada cuenca, celda a celda. Previamente, una vez seleccionado el período a estudiar, el Gestor de Modelos Climáticos habrá obtenido para cada celda (200m x 200m) de la retícula del MHSup las series básicas, con periodicidad mensual, de todas las variables climáticas que intervienen en el proceso de cálculo. Entre esas series se encuentran las que participan en el cálculo de la escorrentía: Precipitaciones mensuales (PM) y Número de días de lluvia de cada mes (NPM).

En cada cuenca el proceso de cálculo parte de la celda de mayor cota y continúa con la inmediata inferior y así, sucesivamente, hasta la celda que contacta con el mar; a no ser que en el camino se intercepte algún ramal; en este caso, se reinicia el proceso en la celda de cabecera del ramal con la misma secuencia de cálculo.

XXVI.2. IDENTIFICACIÓN DE CELDAS

El proceso de evaluación de los volúmenes de escorrentía relativos a los flujos de Entrada y Salida en cada celda se inicia identificando su tipo. Ser de «cabecera» o de «interior»; de cauce principal, de ramal o de subramal es una condición a extraer de las características topológicas de la celda a analizar.

XXVI.3. LA ESCORRENTÍA GENERADA EN CADA CELDA (EP)

XXVI.3.1. Proceso de cálculo

En cada celda se calcula la escorrentía generada dentro de sus límites (Escorrentía Propia), mes a mes, previamente desglosada según las escorrentías parciales de cada uno de loa aguaceros diarios ocurridos durante el mes a considerar.

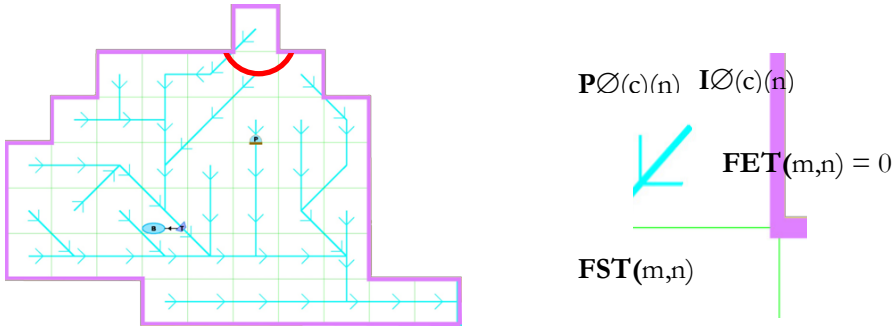


Figura 201. Cuenca hidrográfica discretizada y celda de cabecera

XXVI.3.2. Desagregación de la PC Mensual en Aguaceros Diarios

El número de aguaceros diarios (NDP(m,n)) ocurridos en el mes, en principio, coincide con el número de días de lluvia al mes. Si es superior a 10 se estima que han existido pequeños aguaceros ajenos al temporal; en consecuencia y a los efectos del cálculo de la Escorrentía, se procede a eliminar los pequeños aguaceros que supuestamente no van a generar agua de escorrentía y a ajustar la Precipitación Convencional original del mes «m» medida en la celda «n» (PCm,n):

Si $\mathbf{NDPC}(m,n) > 10 \rightarrow \mathbf{PC}(m,n) = \mathbf{PC}(m,n) - 2 \bullet (\mathbf{NDPC}(m,n) - 10)$

A continuación, se asigna a cada aguacero j la aportación de lluvia que le habría correspondido PC(j)(m,n) a partir del algoritmo ya comentado (Apdo XXV.2.2)

$$\mathbf{PC}(j)(m,n) = (\mathbf{PC}(m,n) - \sum_{1}^{j-1} \mathbf{P}(j)(m,n) \bullet [11 - (\mathbf{NDP}(m,n) + 1 - j)] / 10$$

XXVI.3.3. Escorrentía generada por cada aguacero dentro de la celda

Conocida la aportación de lluvia de cada aguacero del mes «m» en la celda «n» (PC(j)(m,n)), en el siguiente paso se deduce la Escorrentía Propia EP(j)m,n que genera cada uno de ellos en el interior de la celda, relacionando sus respectivas tasas de precipitación (PC(j)(m,n)) con el umbral de escorrentía que corresponde al estado de humedad en el momento de ocurrencia del aguacero (PØ(j)(m,n)).

$$\mathbf{EP}(j)(m,n) = f\,(PC(j)(m,n);\ P\emptyset(j)(m,n))$$

Dado que PØ(j)(m,n) depende del umbral relativo al mes de cálculo (PØ(m,n)), el valor de aquel ya se habrá deducido (apartado XXV.5).

XXVI.3.3.1. Umbral de Escorrentía Característico de la celda: PØ(c)(n)

Es uno de los datos que «caracterizan» la celda. Se obtiene de la tabla creada al efecto (apartado XXIV.2.4). Ahora bien, el valor a aplicar al aguacero no suele ser el característico pues depende del estado de humedad del suelo en el momento de recibirlo.

XXVI.3.3.2. Umbral de Escorrentía relativo al mes de cálculo: PØ(m,n)

En función de las condiciones de humedad del suelo, en el apartado XXV.4.4.3 construimos la expresión que traemos de nuevo, pero referenciada a la celda «n».

$$\mathbf{P}\varnothing(m,n) = (-0.013 \cdot (\mathbf{PAN}(m-1,n) + \mathbf{PC}(hs)(m-1,n)) + 2.38) \cdot \mathbf{P}\varnothing(m-1,n)$$

Si $\mathbf{P}\varnothing(m,n) < 0{,}43 \bullet \mathbf{P}\varnothing(c)(n) \rightarrow \mathbf{P}\varnothing(m,n) = 0{,}43 \bullet \mathbf{P}\varnothing(c)(n)$

Si $\mathbf{P}\varnothing(m,n) > 2{,}38 \bullet \mathbf{P}\varnothing(c)(n) \rightarrow \mathbf{P}\varnothing(m,n) = 2{,}38 \bullet \mathbf{P}\varnothing(c)(n)$

La aplicación de esta expresión da lugar a que el valor de PØ(m,n) correspondiente al primer mes (octubre) de cualquier período de estudio sea el del característico de la celda, pero en condiciones secas: $\mathbf{P}\varnothing(m,n) = 2{,}38 \bullet \mathbf{P}\varnothing(c)(n)$.

XXVI.3.3.3. Umbral de Escorrentía en cada aguacero (PØ(j)(m,n))

La función siguiente, ya explicitada (Apdo:XXV.5), permite obtener el valor del umbral de escorrentía a aplicar a la lluvia de cada aguacero para deducir la cantidad de aquella que acabará reconvertida en agua de escorrentía superficial:

$$\mathbf{P}\varnothing(j)(m,n) = \mathbf{P}\varnothing(m,n) \;/\; \mathbf{j}^{0.75} - 0{,}05 \bullet (\mathbf{j}-1)^2 + \mathbf{j}/3{,}5 - 0{,}3$$

XXVI.3.3.4. Aportación de escorrentía generada por cada aguacero diario. (Escorrentía propia en la celda: EP(j)).

Se adoptó la función propuesta por el US SOIL CONSERVATION SERVICE:

$$\mathbf{EP}(j)(m,n) = \frac{[\mathbf{PC}(j)(m,n) - \mathbf{P}\varnothing(j)(m,n)]^2}{[\mathbf{PC}(j)(m,n) + 4 \bullet \mathbf{P}\varnothing(j)(m,n]}$$

XXVI.3.3.5. Aportación total de escorrentía aportada a la celda «n» por el conjunto de aguaceros sucedidos durante el mes «m»

Equivalente a la suma de las escorrentías parciales originadas con cada aguacero:

$$\mathbf{EP}(m,n) = \sum_{1}^{x} \mathbf{EP}(j)(m,n)$$

XXVI.4. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN CELDAS CABECERA DE CAUCE

XXVI.4.1. Flujo de entradas total: FET(m,n)

Lógicamente en las celdas de cabecera no existe flujo de entrada. Tampoco se

$$\mathbf{FET}(m,n) = \mathbf{Ø}$$

considera la posibilidad que en las celdas de cabecera desemboque algún ramal:

XXVI.4.2. Flujo de salida total: FST(m,n)

Se calcula aguacero por aguacero (1,2,…j), a partir de la escorrentía circulante por la celda (**EC**(j)m,n) parte de la cual se infiltra en el subsuelo a través del cauce que discurra por ella (IC(j)m,n)); término este que se deduce en función del *Umbral de Infiltración en Cauces* que le corresponda a cada aguacero (IØ(j)(m,n)).

XXVI.4.2.1.- La Escorrentía Circulante de cada aguacero: EC(j)(m,n)

Al tratarse de una celda de cabecera no habrán existido más aguas circulantes que las que se generan en la propia celda, es decir, la escorrentía propia EP(j)(m,n) que ya ha sido calculada en el paso anterior. Por tanto: **EC**(j)(m,n) **= EP**(j)(m,n)

XXVI.4.2.2.- IØ característico en Cauces: IØ(c)(n)

A cada celda se le asignó un valor de IØ de acuerdo al procedimiento descrito en el apartado XXIV.3.3. El valor máximo se asignó a las celdas «sumidero» de las cuencas endorréicas: **I**Ø(c)(n) = **275**

XXVI.4.2.3.- IØ en Cauces por aguacero: IØ(j)(m,n)

Se deduce en función del umbral de infiltración característico de la celda IØ(c)(n) y del nº de orden del aguacero:

a).- En celdas «sumidero» → **I**Ø(c)(n) **= 275**

IØ(j)(m,n) **= I**Ø(c)(n)

b).- En celdas «normales»

Si **I**Øn **≠ 275** (celdas no sumidero) →

el primer aguacero estará sometido, lógicamente, al Umbral de Infiltración ca-

racterístico de la celda: **I**Ø(1)(n) **=** **I**Ø(c)(n)

Para el resto se acordó que el tramo de cauce que atraviese la celda en cuestión no estará colmatado hasta que la escorrentía circulante haya alcanzado, al menos, la mitad del valor del Umbral de Infiltración característico de la celda.

Si EC(j-1)(m,n) ≤ IØ(j-1)(m,n) / 2 → **I**Ø(j)(m,n) **=** **IØ**(j-1)(m,n)

Por el contrario:

Si EC(j-1)(m,n) > IØ(j-1)(m,n) / 2 →

se aplica un factor minorante de IØ con cada aguacero (apartado XXV.6.2.):

$KDI\emptyset(j) = j^{(0,003 \times I0 - 0,016)} / (j)^{0,81}$

$\rightarrow$ **I**Ø(j)(m,n) = **I**Ø(c)(n) • $(j-1)^{(0,003 \cdot I\emptyset n - 0,016)} / (j-1)^{0,81}$

XXVI.4.2.4.- IØ en cada aguacero: IØ(j)(m,n)

Una vez obtenido IØ(j)m,n, la infiltración en cauces (**IC**(j)m,n) que tendrá lugar dentro de la celda «n» con cada uno de las aguaceros diarios (j) del mes «m» se

$$\mathbf{IC}(j)(m,n) = \mathbf{I\emptyset}(j)(m,n) + \frac{\mathbf{I\emptyset}(j)(m,n) \bullet (\mathbf{EC}(j)(m,n) - \mathbf{I\emptyset}(j)(m,n))}{(550 - \mathbf{I\emptyset}(j)(m,n))}$$

evalúa a partir del siguiente algoritmo.

De manera y modo que aplicada esta función a las celdas «sumidero» la Infiltración en Cauces resulta ser total; es decir equivalente a la Escorrentía Circulante por la celda «n» durante el mes «m» (**EC**(m,n)).

$$\mathbf{IC} = 275 + \frac{275 \bullet (EC - 275)}{(550 - 275)} = 275 + EC - 275 = \mathbf{EC}$$

ATENCIÓN: En este punto, con la EC y la IC ya evaluadas, si en la celda existen infraestructuras de derivación y/o de almacenamiento de las escorrentías entrarían en el proceso de cálculo sus respectivas capacidades. De momento, continuamos con la descripción del procedimiento como si se tratara de celdas exentas de este tipo de obras; dejando para el capítulo siguiente tales descripciones.

XXVI.4.2.5.- Flujo de Salida de cada aguacero: FS(j)(m,n)

El flujo de salida de cada aguacero desde la celda «n» se obtiene deduciendo a la escorrentía circulante EC(j)(m,n) –en este caso, por ser celda de cabecera, equivalente a la escorrentía propia EP(j)(m,n)- la que se infiltra en el tramo de cauce que

$$\mathbf{FS}(j)(m,n) = \mathbf{EC}(j)(m,n) - \mathbf{IC}(j)(m,n) \equiv \mathbf{EP}(j)(m,n) - \mathbf{IC}(j)(m,n)$$

atraviesa la celda en cuestión (IC(j)(m,n)) que acabamos de deducir.

XXVI.4.2.6.- Flujo Total de Salida desde la celda «n»: FST(m,n)

Finalmente, el flujo total de escorrentías que salen de la celda «n» en el mes «m»

$$\mathbf{FST}(m,n) = \sum_{x=1}^{x=10} \mathbf{FS}(j)(m,n)$$

(FSTm,n) es la suma de los flujos parciales obtenidos para cada aguacero.

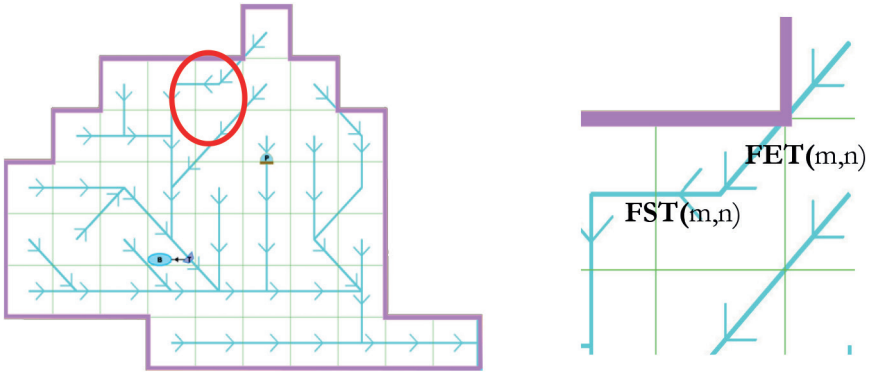
En las celdas **sumidero** al coincidir la Escorrentía Circulante (EC) con la Infiltración en Cauces (IC) → FST = Ø

$$\mathbf{FST}(m,n) = ECT(m,n) - ICT(m,n) = Ø$$

NOTA: Tanto FET(m,n) como FST(m,n) deben almacenarse pues participan al final en el proceso de cálculo. Sin embargo los flujos de salida parciales de cada aguacero (FS(1)(m,n), FS(2)(m,n),…FS(j)(m,n) solo lo hacen en el cálculo de los flujos de entrada en la celda en la que desembocan (FE(1)(m,n+1, FE(2)(m,n+1)…FN(j)(m,n+1))

XXVI.5. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN CELDAS INTERNAS SIN DESCARGAS DE RAMALES O SUBRAMALES

Ser celda de «cabecera» o de «interior» de cauce principal, ramal o subramal



es una condición a extraer de las características topológicas de la celda a analizar.

Figura 202. Cuenca hidrográfica discretizada y celda interna

XXVI.5.1. Flujo de entrada total: FET(m,n)

El flujo de entrada de cada aguacero es equivalente al flujo de salida de éstos desde la celda que le precede: **FET**(j)(m,n) = FST(j)(m,n-1)

El flujo de entrada total es la suma de los flujos de entrada parciales o también el equivalente al flujo de salida de la celda que le precede:

$$\mathbf{FET}(m,n) = \mathbf{FST}(m,n-1)$$

XXVI.5.2. Flujo de salida total: FST(m,n)

Se deduce «aguacero por aguacero» a partir de la escorrentía circulante por la celda (EC(j)m,n) y la infiltración sobre cauces que se produzca dentro de aquella.

XXVI.5.2.1.- La Escorrentía Circulante con cada aguacero: EC(j)(m,n)

El valor de esta variable es equivalente a la suma de las escorrentías que se producen dentro de dicho recinto o Escorrentía Propia (EP(j)(m,n)) más el flujo de entrada que le llega de la celda que le precede (FE(j)(m,n)) que, lógicamente, tiene que ser equivalente al flujo de salida de dicha celda (FS(j)(m,n-1))

$$\mathbf{EC}(j)(m,n) = \mathbf{EP}(j)(m,n) + \mathbf{FE}(j)(m,n) = \mathbf{EP}(j)(m,n) + \mathbf{FS}(j)(m,n-1)$$

XXVI.5.2.2.- La Infiltración en Cauces con cada aguacero: IØ(j)(m,n)

Para obtener la infiltración en cauces fue necesario deducir el umbral de infiltración en o sobre cauces correspondientes a cada aguacero (IØ(j)(m,n)), obtenido de forma idéntica a como se ha hecho en las celdas de cabecera

A continuación se halló la infiltración en cauces (IC(j)(m,n)) a partir del algoritmo ya utilizado para aquellas.

$$\mathbf{IC}(j)(m,n) = \mathbf{I\emptyset}(j)(m,n) + \frac{\mathbf{I\emptyset}(j)(m,n) \bullet (\mathbf{EC}(j)(m,n) - \mathbf{I\emptyset}(j)(m,n))}{(550 - \mathbf{I\emptyset}(j)(m,n))}$$

XXVI.5.2.3.- Flujo de Salida de cada aguacero: FS(j)(m,n)

Para obtener el flujo de salida de cada aguacero desde la celda es preciso disponer de la escorrentía circulante (EC(j)(m,n)), ya calculada, y la que se infiltra en el tramo de cauce que atraviesa la celda (IC(j)(m,n)), deducida en el apartado anterior.

$\mathbf{FS}(j)(m,n)) = \mathbf{EP}(j)(m,n) + \mathbf{FE}(j)(m,n) - \mathbf{IC}(j)(m,n)$ equivalente a

$$\mathbf{FS}(j)(m,n) = \mathbf{EP}(j)(m,n) + \mathbf{FS}(j)(m,n-1) - \mathbf{IC}(j)(m,n)$$

XXVI.5.2.4.- Flujo Total de Salida desde la celda «n»: FST(m,n)

El flujo total de salidas de escorrentía en el mes «m» desde la celda «n» es:

$$\mathbf{FST}(m,n) = \sum_{x=1}^{x=10} \mathbf{FS}(j)(m,n)$$

XXVI.6. LAS DESCARGAS DE LOS RAMALES Y SUBRAMALES

XXVI.6.1. Agua de Descarga

Entendemos por DESCARGA el flujo de salida de la última celda de un subramal (DS), de un ramal ó del cauce principal (DR). Lógicamente un subramal descargará sobre un ramal, un ramal sobre el cauce principal (DS(m) = FSTsubramal), y este último sobre el mar (Descarga al mar: DR(m) = FSTramal). Si sobre la celda del ramal o del cauce principal confluye más de un subramal o más de un ramal, entonces:

ΣDSm = ΣFSTsubramales y ΣDRm = ΣFSTramales

Es imprescindible, por tanto, tener calculados en primer lugar los flujos de entradas y salidas en los subramales, definiendo además el ramal y la celda de éste sobre la que vierte; a continuación se calculan los flujos de entrada y salida en los ramales, definiendo, igualmente, la celda del cauce principal sobre la que descargan.

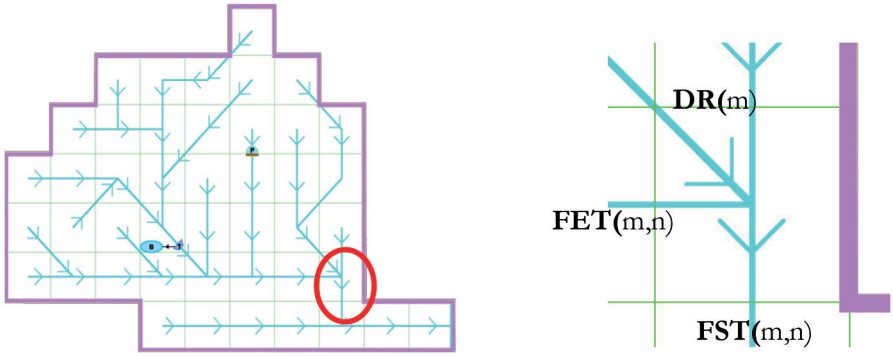


Figura 203. Cuenca hidrográfica discretizada y celda interna con ramales.

XXVI.6.2. Flujo de entrada total a una celda: FET(m,n)

Si se trata de un ramal, al flujo de salida de la celda precedente FSTm,n debe añadírsele la «descarga» del subramal o subramales que desemboquen sobre la celda ΣDS(m). En un cauce principal a FSTm,n se le añade la «descarga» del ramal o ramales que desemboquen sobre la celda ΣDR(m)

Flujo Total de Entradas en **ramales**:

$$\mathbf{FET}(m,n) = \mathbf{FST}(m,n) + \Sigma\mathbf{DS}(m)$$

Flujo Total de Entradas a un **cauce principal**:

$$\mathbf{FET}(m,n) = \mathbf{FST}(m,n) + \Sigma\mathbf{DR}(m)$$

XXVI.6.3. Flujo de salida total desde una celda: FST(m,n)

Como en los casos anteriores se calcula aguacero por aguacero a partir de la escorrentía circulante generada por aquellos (**EC**(j)(m,n)) y la infiltración sobre cauces que se producirá en la celda al paso de tales escorrentías (**IC**(j)(m,n)).

XXVI.6.3.1.- La Escorrentía Circulante por la celda con cada aguacero

El primer paso, pues, consiste en definir las Escorrentías circulantes por la celda «n» consecuencia de los aguaceros diarios del mes «m» (EC(j)(m,n)).

Ahora bien, por la celda podrá circular, además de la Escorrentía Propia (EP(j)(m,n)), las escorrentías provenientes de la celda precedente (FS(j)(m,n-1)) así como las que descarguen los subramales (DS(j)) o ramales (DR(j)), según el caso. Es decir, en general:

$EC(j)(m,n) = EP(j)(m,n) + FE(j)(m,n)$ equivalente a:

En cauce principal

$$\mathbf{EC}(j)(m,n) = \mathbf{EP}(j)(m,n) + \mathbf{FS}(j)(m,n\text{-}1) + \Sigma\mathbf{DR}(j)(m)$$

En ramales

$$\mathbf{EC}(j)(m,n) = \mathbf{EP}(j)(m,n) + \mathbf{FS}(j)(m,n\text{-}1) + \Sigma\mathbf{DS}(j)(m)$$

XXVI.6.3.2.- La Infiltración en Cauces con cada aguacero (IØ(j)(m,n))

Al igual que en las opciones precedentes, para deducir la Infiltración en Cauces previamente hay que tener definidos los umbrales de infiltración correspondientes a cada a cada aguacero (IØ(j)(m,n)) aplicando la función que ya conocemos.

Del mismo modo, la infiltración sobre cauces en la celda «n» como consecuencia de la escorrentía circulante generada por cada aguacero (IC(j)(m,n)) se deduce partir de la ecuación que al respecto venimos aplicando caso a caso.

$$\mathbf{IC}(j)(m,n) = \mathbf{I\varnothing}(j)(m,n) + \frac{\mathbf{I\varnothing}(j)(m,n) \bullet (\mathbf{EC}(j)(m,n) - \mathbf{I\varnothing}(j)(m,n))}{(550 - \mathbf{I\varnothing}(j)(m,n))}$$

XXVI.6.3.3.- Flujo de Salida de cada aguacero

Conocidos EC e IC, el flujo de salida desde la celda «n» que se producirá con cada aguacero diario del mes «m» vendrá dado por la expresión:

$$\mathbf{FS}(j)(m,n) = \mathbf{EC}(j)(m,n) - \mathbf{IC}(j)(m,n) = \mathbf{EP}(j)(m,n) + \mathbf{FE}(j)(m,n) - \mathbf{IC}(j)(m,n)$$

En cauce principal:

$$\mathbf{FS}(j)(m,n) = \mathbf{EP}(j)(m,n) + \mathbf{FS}(j)(m,n-1) + \Sigma\mathbf{DR}(j)(m) - \mathbf{IC}(j)(m,n)$$

En ramales

$$\mathbf{FS}(j)(m,n) = \mathbf{EP}(j)(m,n) + \mathbf{FS}(j)(m,n-1) + \Sigma\mathbf{DS}(j)(m) - \mathbf{IC}(j)(m,n)$$

Siendo **ΣDR**(j)(m) y **ΣDS**(j)(m) la descarga sobre la celda analizada del ramal o ramales o bien del subramal o subramales, (según el caso) que confluyan con ella, aguacero por aguacero.

XXVIII.6.3.4.- Flujo Total de Salida de Escorrentías desde la celda «n»

$$FST(m,n) = \sum_{x=1}^{x=10} \mathbf{FS}(j)(m,n)$$

XXVI.7. DERIVACIÓN Y ALMACENAMIENTO

XXVI.7.1. Introducción

El almacenamiento de las aguas de escorrentía puede llevarse a cabo directamente en el mismo barranco, interceptándolas con un muro de **presa** o mediante **tomaderos** en el cauce conectados con una canalización hasta una **balsa** localizada fuera de los límites del barranco. Atendiendo a estas dos formas de aprovechamiento, se han introducido en el procedimiento dos nuevos parámetros:

CDn: Capacidad de Derivación desde la celda «n» (m^3/s)

CAn: Capacidad de Almacenamiento existente en la celda (1.000 • m^3)

Ninguno de los dos es susceptible de parametrización. Dado que el número de celdas en la retícula del MHSup afectadas por uno u otro tipo de aprovechamiento no supera el medio centenar, en principio y por defecto se asignó a la totalidad de las celdas una capacidad de derivación de 1.000 m^3/s –suficiente para desaguar cualquier caudal punta-; así como una capacidad de almacenamiento nula. Posteriormente se asignaron a las celdas en las que se localizan infraestructuras de derivación y/o almacenamiento los valores de capacidad que tuvieran unas y/o otras.

Además de estos dos parámetros, cuatro nuevas variables forman parte del proceso de cálculo en esta fase del procedimiento:

VDX(m,n): **Volumen Máximo** posible a **Derivar** de agua de escorrentía generada por cada aguacero durante el mes «m» en la celda «n»

QP(j)(m,n)**:** **Caudal punta** de cada una de las avenidas originadas por los «j» aguaceros ocurridos durante el mes «m» sobre la celda «n» (m^3/s).

AD(j)(m,n)**:** **Aportaciones de escorrentía** que podrían haber sido derivadas desde la celda «n» con una capacidad **CD**n, con ocasión de la ocurrencia de los «j» aguaceros sucedidos durante el mes «m» (1000 • m^3).

VE(j)(m,n)**:** **Volúmenes** de escorrentía embalsadas con cada uno de los «j» aguaceros sucedidos durante el mes «m» (1000 • m^3).

VET(n)**:** **Volumen acumulado de agua embalsada,** aguacero tras aguacero y mes tras mes (1000 • m^3).

NOTA: Al inicio del año agrícola se entiende que no existen aguas almacenadas pues habrán sido consumidas en su totalidad en los meses de verano: VET = Ø

XXVI.7.2. Aprovechamiento directo de las aguas de escorrentía

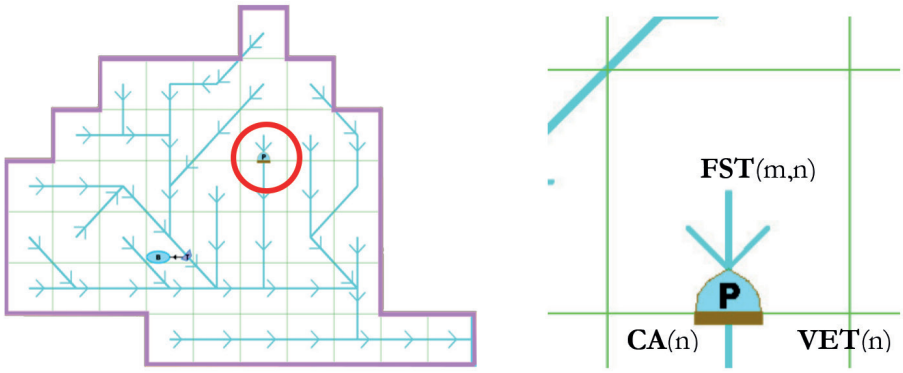


Figura 204. Cuenca hidrográfica discretizada y celda con aprovechamiento directo

Si sólo existe aprovechamiento directo (presa en cauce de barranco) el volumen de escorrentía almacenado es equivalente al flujo de salida de la celda interceptado, aguacero por aguacero, hasta que el volumen acumulado alcance la capacidad máxima de embalse asignada a la celda en cuestión.

En las celdas donde no existe infraestructura de almacenamiento: CAn = Ø, el volumen de agua destinado a almacenarse será, lógicamente, nulo: **VE**(j)(m,n) = Ø

La aportación susceptible de ser derivada coincide con el flujo de salida:

$$\mathbf{AD}(m,n) = FST(m,n)$$

En caso de existencia de presa o balsa dentro de cauce: CAn ≠ Ø y el volumen de agua embalsada antes del suceso del aguacero no supera la capacidad de almacenamiento asignada a la celda; es decir:

1).- Si VET(j-1)(m,n) < CA(m,n) →

$$\mathbf{VET}(j)(m,n) = \mathbf{VET}(j\text{-}1)(m,n) + \mathbf{FST}(j)(m,n)$$

Si el volumen embalsado total resultante es menor que la capacidad de almacenamiento, querrá decir que toda el agua de escorrentía ha sido retenida en la presa y por tanto no habrá flujo de salida desde la celda; es decir:

1a).- Si VET(j)(m,n) < CA(m,n) → **AD**(m,n) = **FST**(j)(m,n) = Ø

Por el contrario:

1b).- Si VET(j)(m,n) > CA(m,n) → **VET**(m,n) = **CA**(m,n)

AD(m,n) = **FST**(j)(m,n) = **EC**(j)(m,n) – **IC**(j)(m,n) – (**CA**(m,n) – **VET**(j-1)(m,n))

Si el la presa o balsa ya está llena antes del suceso del aguacero; es decir:

2).- Si VET(j-1) = CA(n) → **AD**(m,n) = **FST**(j)(m,n) = **EC**(j)(m,n) – **IC**(j)(m,n)

XXVI.7.3. Aprovechamiento indirecto de las aguas de escorrentía

El aprovechamiento indirecto mediante tomadero en cauce de barranco y conducto de derivación hasta balsa es una limitación añadida a la capacidad de almacenamiento, pues el posible volumen almacenado depende de la cantidad de agua derivada desde aquel que, a su vez, depende de la capacidad de derivación del conducto, y en última instancia, de la geometría de los hidrogramas.

El MHSup opera con aguaceros diarios -estimados en función de la Precipitación Convencional (PC) y el Número de días de Preciptación (NP)- para los que se definen sus correspondientes hidrogramas a partir de una geometría bien simple.

XXVI.7.3.1. Hidrogramas de avenida de los aguaceros diarios

Se adoptó el siguiente desarrollo esquematizado de las distintas avenidas diarias:

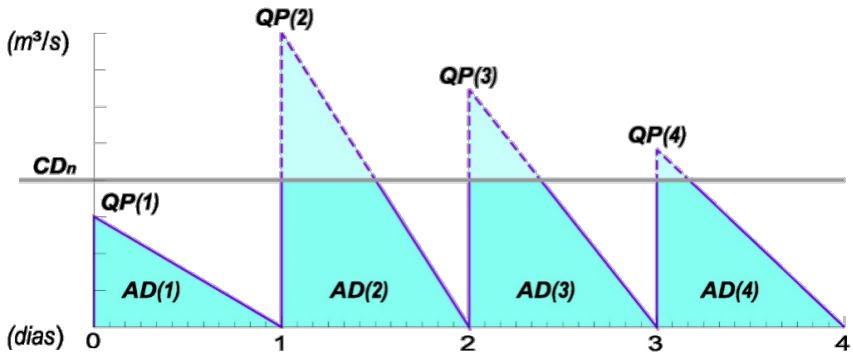


Figura 205. Hidrogramas de avenidas relativas a «j» aguaceros diarios.

El área de cada uno de los triángulos con que se representan los hidrogramas se corresponde con el volumen de agua generado por cada aguacero en la celda «n» que, lógicamente es el volumen máximo posible a derivar (VDX):

En general, el volumen de agua generado por cada aguacero (j) sería:

$$VDX(j)(1.000 \bullet m^3) = (QP(j)(m^3/s) \bullet 86.400(s)) / 2 \bullet 1.000 = QP(j) \bullet 43{,}2$$

Volumen éste equivalente al flujo de salida desde la celda de cada aguacero:

$$VDX(j)(m,n) \equiv FS(j)(m,n)$$

El caudal punta correspondiente a dichos aguaceros tiene que ser:

$$QP(j)(m,n) = VDX(j)(m,n) / 43.2 \equiv FS(j)(m,n) / 43.2$$

XXVI.7.3.2. Volúmenes derivados de agua de escorrentía

Las cabezas de los hidrogramas se han truncado con la Capacidad de Derivación existente en la celda en cuestión (CD(n)). La superficie de cada una de los polígonos resultantes (triángulos o trapecios) se corresponde con el volumen de agua de cada aguacero que podría ser derivado desde la celda «n».

El volumen de agua de escorrentía derivado con cada aguacero AD(j)(m,n) sucedido durante el mes «m» desde la celda «n» donde existe una infraestructura de derivación de capacidad CD(m,n) se deduce a partir de las siguientes expresiones:

Si $\mathbf{CD}(m,n) > \mathbf{QP}(j)(m,n) \rightarrow$

$$\mathbf{AD}(j)(m,n) = \frac{86{,}4 \bullet \mathbf{QP}(j)(m,n)}{2} = 43{,}2 \bullet \mathbf{QP}(j)$$

Si $\mathbf{CD}(m,n) \leq \mathbf{QP}(j)(m,n) \rightarrow$

$$\mathbf{AD}(j)(m,n) = 43{,}2 \cdot \left(\mathbf{QP}(j)(m,n) - \frac{(\mathbf{QP}(j)(m,n) - \mathbf{CD}n)^2}{\mathbf{QP}(j(m,n)}\right)$$

XXVI.7.4. Distribución de las escorrentías derivadas en las balsas

Más del 90% de las aguas de escorrentía superficial que complementan la oferta hídrica de la isla se almacenan en las balsas de BALTEN. Comparten estancia, sin orden de preferencia, con las aguas subterráneas excedentes en los meses de lluvia. En cada balsa se ha establecido la capacidad de almacenamiento que podría estar disponible para las aguas superficiales. Por otro lado, en dos de las nueve balsas de BALTEN que reciben aguas de escorrentía, éstas tienen distintas fuentes de origen (tomaderos). En los dos casos se ha «distribuido» la capacidad de almacenamiento disponible entre las diversas tomas, adjudicando a cada una la fracción que le corresponda del total ponderada con sus respectivas capacidades de derivación.

NOTA: Dado el bajo nivel de aprovechamiento de las aguas de escorrentía (1,3 hm^3/año; 0,1% s.PT) el proceso de cálculo –muy elemental– de las escorrentías derivadas se ha generalizado para todas las cuencas de la isla, obteniendo órdenes de magnitud. No obstante, cuando se pretende el análisis de una en particular, el programa puede adaptarse a las características de esa cuenca (Tiempo de concentración, etc,..)

XXVI.8. LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA EN LAS CELDAS SUMIDERO



Figura 206. Laguna en la cuenca endorréica de la Cañada de Pedro Méndez.

En las celdas «sumidero» no se generan aguas de escorrentía; no existe pues el concepto de escorrentía propia (EP) como en las celdas normales. En cambio sí son receptoras de escorrentías ajenas; en concreto las que les aportan las celdas cuyos flujos de corriente confluyen en su interior; escorrentías que se corresponden con el que hemos denominado flujo de entrada (FE). Todo el agua que reciben, tanto la procedente de la lluvia convencional (PC) como de la lluvia horizontal (PAN) más las entradas desde otras celdas (FE) queda almacenado dentro de ellas para consumo de la Evapotranspiración (ETR) y de la Infiltración (I).

En el capítulo dedicado al *balance en el suelo* (BAS) se podrá comprobar cual y como es la participación de estas celdas «sumidero» en el ciclo hidrológico insular.

XXVI.9. CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA CUENCA A CUENCA

En el momento en el que la celda «n» de cualquier cuenca se corresponda con la que conecta con el mar y el mes «m» sea el último del período de modelización, finaliza el proceso de cálculo de la escorrentía en esa cuenca, iniciándose en otra.

En las cuencas endorreicas el proceso finaliza en la celda «sumidero».

CAPÍTULO XXVII
LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN EL MHSUP

XXVII.1. LA ETP EN EL MHSUP ORIGINAL

XXVII.1.1. Introducción

El MHSup original, cuya construcción se inicia en los años noventa del pasado siglo, trabajaba con series mensuales de evapotranspiración potencial calculada según Thornthwaite, alimentadas con series mensuales de temperatura media.

No obstante, se sabía que en zonas situadas por encima de la cota 1500 m, la fórmula de Thornthwaite deduce resultados muy por debajo de los que se obtienen con otras metodologías; discordancia ésta debida sobre todo a la consideración, por parte de aquella, de tiempos estándar de insolación. Todo el suelo que ocupa la gran caldera de Las Cañadas del Teide, libre de la afección del «mar de nubes», dispone de un gran número de horas de insolación, muy superior a esos tiempos estándar. Es necesario pues contemplar el tiempo real de insolación a la hora de establecer el valor de la ETP, máxime si se tiene en cuenta que en esta zona la precipitación se produce, en muchas ocasiones, en forma de nieve y que además se originan extensas «lagunetas» que logran mantenerse con agua hasta dos o tres meses. Además, la velocidad del viento y la humedad son también protagonistas principales del fenómeno evapotranspirante en determinados entornos de la isla.

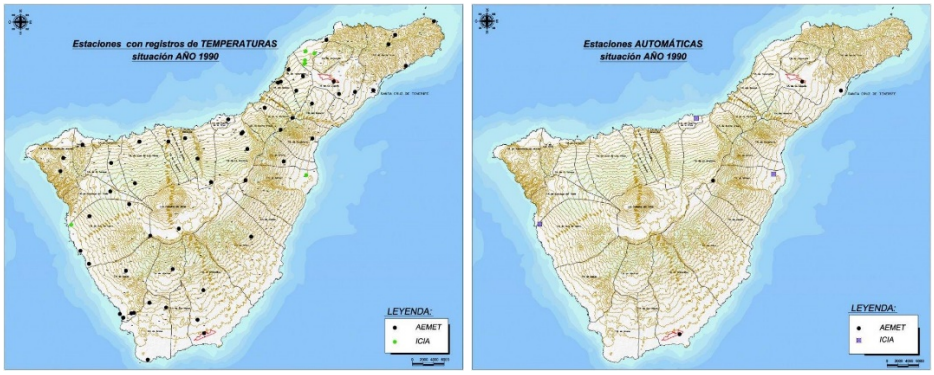


Figura 207. Distribución de las estaciones termométricas y de las estaciones completas activas en Tenerife en el año 1990.

Ahora bien, la visión de los dos mapas precedentes justifica por sí sola la imposibilidad material de evaluar, en aquellas fechas, la ETP por ningún otro método que no fuera el que contemplara, como único elemento de cálculo, la temperatura; variable que contaba con una aceptable cobertura de información – sólo alguna zona concreta necesitó de estaciones «virtuales»–. No era así con el resto de las variables que afectan a la ETP, tal como se infiere del mapa a la derecha de la figura, donde se representan las únicas estaciones completas de lectura automática que registraban medidas de las variables climáticas mencionadas.

Ante tales carencias, la ETP hubo que deducirla con la fórmula de Thorntwaite, sometiendo a continuación los valores obtenidos a los pertinentes ajustes.

XXVII.1.2. Cálculo de la ETP a partir de la fórmula de Thornthwaite

Thornthwaite consideró que la evapotranspiración es proporcional a la temperatura media, afectada de un coeficiente exponencial:

$$e = 16(10tm / I)^a$$

e: evapotranspiración potencial mensual sin ajustar (mm/mes)

tm: temperatura media mensual del mes correspondiente (ºC)

I: índice de calor anual

a: parámetro que se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$a = 0{,}000000675I^3 - 0{,}0000771I^2 + 0{,}01792I + 0{,}49239$$

Fianalmente:

$$ETP_{Tho} = eL$$

L: factor de corrección en función de la duración astronómica de las horas de sol durante el mes, correspondiente al lugar de cálculo.

A partir de las series de temperatura media mensual (TMm) disponibles en la isla se obtuvieron las series correspondientes a cada una de las celdas (n) de la retícula con que se discretizó la isla de Tenerife en el MHSup.

$$\mathbf{ETP}m,n = f\,(\mathbf{TM}m,n)\ \text{(Thornthawite)}$$

XXVII.1.3. Ajuste del valor de la ETP calculado según Thornthwaite

Conscientes de la, en general, infravaloración de los valores de la ETP obtenidos de la aplicación estricta de la fórmula de Thornthwaite, dichos valores se ajustaron en función de los que se deducían en las estaciones meteorológicas de Isamar en el norte, Güímar-Planta en el sur e Izaña en la cumbre, usando la primitiva fórmula de Penmam-Monteith. Se aplicaron unos coeficientes correctores de la ETo (KETo) en función de la cota media (Zn) de la celda y del mes de cálculo en cuestión. En cada mes se aplicaba una función del tipo:

$$\mathbf{KETP} = a \bullet \mathbf{Z}n - b \qquad \text{si } \mathbf{KETP} > X \rightarrow \mathbf{KETP} = X$$

En consecuencia, la Evapotranspiración Potencial del mes «m» en la celda «n» con la que había venido operando el MHSup respondía a:

$$\mathbf{ETPc}m,n = \mathbf{ETP}m,n \bullet \mathbf{KETP}m$$

XXVII.1.4. De la fiabilidad del procedimiento

Por aquellas fechas, en otros territorios también se trabajaba en la construcción de modelos matemáticos de simulación hidrológica; se nos ofrecía pues la oportunidad de contrastar nuestra forma de operar con otras iniciativas similares. En junio de 1999, justo tres meses antes de la presentación oficial del MHSup salió a la luz un artículo suscrito por Teodoro Estrela et alt. en el que se *describe brevemente el modelo distribuido* (el SIMPA) *utilizado en el Libro Blanco del Agua en España*[27].

Los siguientes párrafos, extraídos de dicho artículo, versan acerca del tema:

El método de Thornthwaite ha venido utilizándose tradicionalmente en España debido a que básicamente sólo necesita datos de temperatura, información que habitualmente se encuentra disponible cubriendo amplias regiones. Sin embargo, este método, válido en zonas húmedas y subhúmedas con precipitaciones estivales, suele infravalorar las evapotranspiraciones potenciales en zonas con climas distintos a los anteriores. En concreto, es conocido que en zonas áridas y semiáridas infravalora la evapotranspiración potencial.

Otros métodos de estimación de la evapotranspiración potencial, como el de Penman-Monteith, que ha sido recomendado por la FAO, definen físicamente mejor el fenómeno y logran ajustar sus resultados a las diferentes condiciones climáticas, aunque por el contrario necesitan de un mayor número de variables. La información que precisan para su aplicación sólo suele estar disponible en las estaciones meteorológicas completas, que registran datos de temperatura, radiación solar, humedad atmosférica, velocidad del viento, etc., y cuyo número es muy reducido en España.

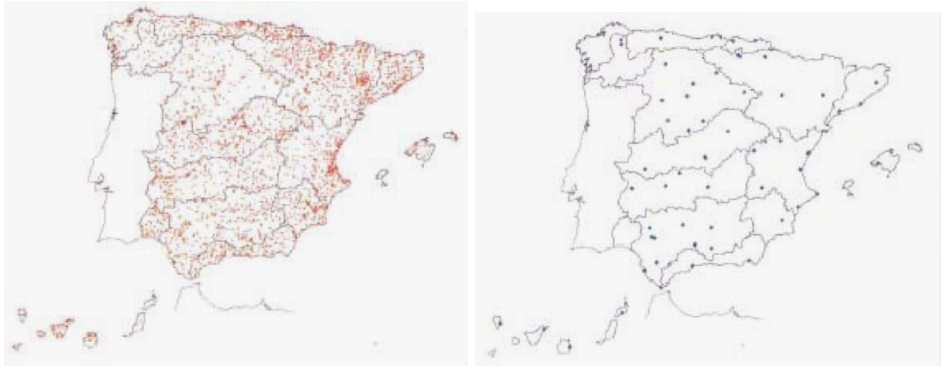


Figura 208. Distribución de las estaciones termométricas y de las estaciones completas en España
Se adjuntan al texto del artículo.

[27] LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL *LIBRO BLANCO DEL AGUA* EN ESPAÑA – Teodoro Estrela, Francisco Cabezas y Federico Estrada - 1999

El procedimiento seguido para estimar la evapotranspiración potencial ha consistido ***en aplicar el método de Thornthwaite*** *en cada celda y para cada uno de los meses del periodo y modificar posteriormente los mapas calculados mediante unos mapas mensuales de* ***coeficientes correctores****. Estos 12 mapas correctores se han obtenido interpolando los coeficientes que resultan de dividir la evapotranspiración potencial media mensual calculada según Penman-Monteith y la calculada según Thornthwaite en las estaciones meteorológicas completas, donde como ya se ha mencionado existe suficiente información para aplicar ambos métodos.*

… Dado que las estaciones meteorológicas que registran la temperatura también escasean en las zonas más montañosas, se han introducido ***estaciones ficticias*** *cuyas series de temperaturas mensuales se han obtenido en función de los valores registrados en las estaciones vecinas y de las correlaciones existentes con la altitud…*

Habíamos seguido pues un procedimiento similar, con una sola diferencia: en el SIMPA el valor del «coeficiente corrector» se deduce a partir de la relación: $\mathbf{K}_{ETP}$ = ETo/ETP en las estaciones completas. En el MHSup dado que apenas se contaba con media docena de estaciones de este tipo se arbitraron algoritmos en función de la cota de la estación y del mes del año de cálculo.

XXVII.2. LA ETP EN EL MHSUP ACTUAL

XXVII.2.1. Introducción

En la última versión del modelo hidrológico de superficie de Tenerife -MHSup- el cálculo de la evapotranspiración potencial se efectúa a partir de las series mensuales completas -en todo el periodo considerado- de las diferentes variables de apoyo en que se basan los diferentes métodos de cálculo habilitados en las aplicaciones que componen MHSup: series mensuales, denominadas de datos conjuntos.

Los métodos habilitados en MHSup son los siguientes:

- Método de Thornthwaite
- Método de Hargreaves
- Método de Penman-Monteith (evapotranspiración de referencia –ETo-).

Este último, recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura –FAO- introduce un denominado coeficiente de cultivo (Kc), pues se ha demostrado que la ETP es dependiente no sólo de factores meteorológicos sino también del tipo de vegetación asentada en la zona.

En una estación climática, provista de las necesarias series climáticas, pueden coexistir su serie mensual de ETP calculada por el método de Thorntwaite (convenientemente corregida mes a mes y afectada por los coeficientes de cultivo Kc), con la de ETP calculada mediante el método de Hargreaves (también afectada por

los Kc), así como con la de cultivo (ETc), calculada según la FAO a partir de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) y de los mencionados Kc .

Para el cálculo de ETP según Hargreaves ha sido necesario disponer en cada estación y para el período de cálculo pretendido –y en todos los casos-, series mensuales previamente rellenas de:

-Temperatura media mensual de las máximas diarias (ºC).

-Temperatura media mensual de las mínimas diarias (ºC).

El mismo cálculo según la FAO (Penman-Monteith) ha requerido, en su opción más completa, extraer de cada estación y para el período de cálculo elegido, series mensuales de nuevas variables (con excepción de las de Humedad Relativa y la Velocidad del viento que ya se habían usado en el cálculo de la lluvia horizontal):

-Temperatura media mensual de las temperaturas máximas diarias (ºC).

-Temperatura media mensual de las temperaturas mínimas diarias (ºC).

-Media mensual de los valores diarios de humedad relativa máxima (%).

-Media mensual de los valores diarios de humedad mínima (%).

-Radiación solar total mensual (MJulios/m^2 y mes).

-Velocidad de viento media mensual (m/s).

XXVII.2.2. El método de Thornthwaite «corregido»

XXVII.2.2.1.- Introducción

Veinte años después de la construcción del MHSup la situación de la red de control meteorológico en Tenerife ha dado un vuelco sustancial. Un buen número de estaciones completas, repartidas por la geografía insular, disponen de series de registros con más de 15 años de extensión.

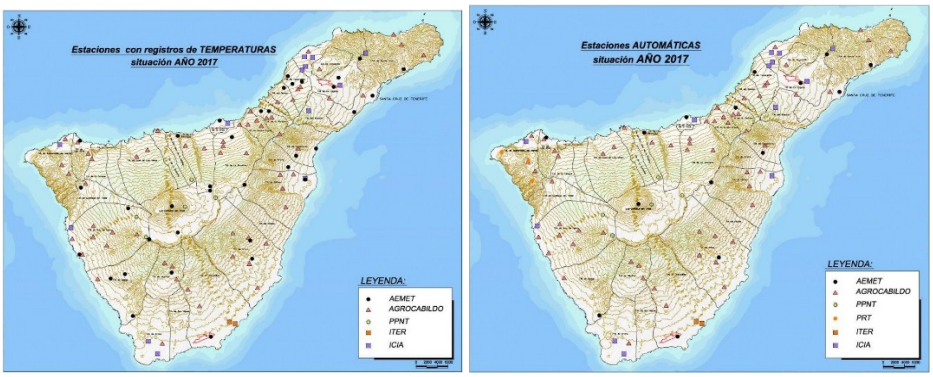


Figura 209. Distribución espacial de las estaciones termométricas (izquierda) y de las estaciones completas (derecha) disponibles en Tenerife en el año 2017.

La información climatológica existente en la actualidad sí permite ambas opciones de cálculo: la ETo de Penman-Monteith, según método aconsejado por la FAO y/o la ETP de Thornthwaite, introduciendo nuevos y más afinados «coeficientes correctores»; en esta ocasión, deducidos con el mismo criterio que el del modelo nacional que venimos comentando en paralelo.

XXVII.2.2.2.- Los nuevos coeficientes correctores

En todas las estaciones completas, a la Evapotranspitación Potencial deducida por Thornthwaite (ETP_T) se la ha hecho equivalente a la de Referencia (ETo) de Penman-Monteith afectándola de un nuevo «coeficiente corrector» K_{PM}:

$\mathbf{ETo}_T = \mathbf{K}_{PM} \times \mathbf{ETP}_T$ siendo, lógicamente $\mathbf{K}_{PM} = ETo/ETP_T$

Un análisis acerca de la aplicación de los coeficientes llevó a la conclusión de que no cabía una aplicación global; hubo que regionalizar a 18 zonas.

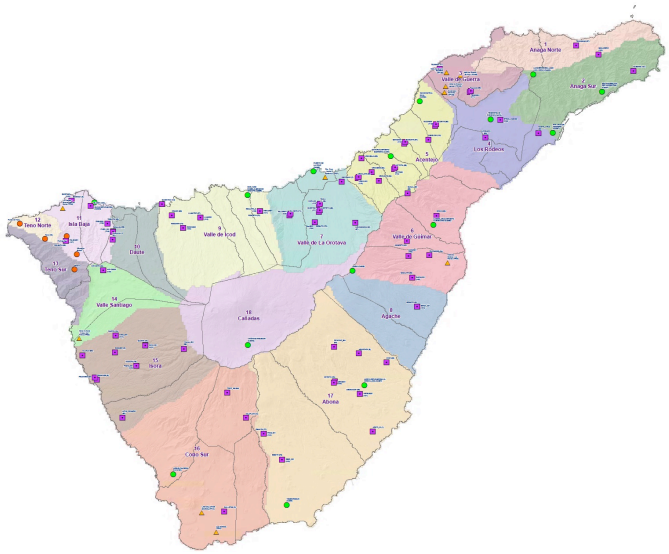


Figura 210. Zonificación del coeficiente corrector de la ETP de Thornthwaite.
Distribución territorial de las estaciones totales de observación meteorológica.

En alzado, los valores de K_{PM} en cada zona varían de mar a cumbre, con un cierto gradiente que se interrumpe a la altura de ubicación del mar de nubes. Se elaboraron 18 tablas de «coeficientes correctores» con los que la Evapotranspiración Potencial de Thornthwaite se reconvierte en una Evapotranspiración de Referencia (ETo_T).

Las ETo_T así deducidas en las estaciones completas se extrapolan a las estaciones de temperatura (reales y virtuales) existentes en el entorno. La nube de puntos se extrapola a su vez – mediante Krigings– a las 51.645 celdas del modelo.

XXVII.2.3. El método FAO Penman-Monteith para el cálculo del ETo

XXVII.2.3.1.- Introducción

El método parte del cálculo de la denominada evapotranspiración de referencia (ETo) el cual requiere, en todos los casos, datos mensuales de temperaturas máximas y mínimas, mientras que si falta alguna de las variables restantes existen fórmulas alternativas de aproximación. De acuerdo con el método de Penman-Monteith, se han articulado diferentes procedimientos:

- Cálculo completo: se requiere disponer de las 6 series mencionadas.
- Cálculos aproximados:
  - Estimación de la presión real de vapor cuando falte alguna de las series mensuales de porcentaje de humedad.
  - Estimación de la radiación solar global cuando falte la serie.

XXVII.2.3.2.- Ecuación

$$ETo = \frac{0{,}408 \bullet \Delta \bullet (Rn - G) + \gamma \bullet \frac{900}{Tmed + 273} \bullet V2 \bullet (es - ea)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0{,}34\,V_2)}$$

ETo	evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})
Rn	radiación neta (MJ m^{-2}día^{-1})
G	flujo del calor de suelo (MJ m^{-2}día^{-1})
Tmed	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
V2	velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1})
es	presión de vapor de saturación (kPa)
ea	presión real de vapor (kPa)
es – **e**a	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C^{-1})
γ	constante psicrométrica (kPa °C^{-1})

Tan sólo la velocidad del viento (Vv) es un dato de entrada, el resto de los parámetros se deducen a partir de expresiones propuestas por la FAO; expresiones en las pueden intervenir las variables: Tmax, Tmin, HRmax y HRmin.

XXVII.2.4. El método Hargreaves para el cálculo del ETo

Una alternativa para el cálculo de la ETo cuando sólo se dispone de registros de temperatura, es la ecuación de Hargreaves. Este método está basado en la amplitud térmica existente en el lugar de cálculo; concepto este definido por la diferencia entre las medias mensuales de las temperaturas máximas y mínimas diarias.

El cálculo se efectúa a partir de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{ET}o_{H} = 0{,}0023 \bullet (\mathbf{T}\text{media} + 17{,}8) \bullet (\mathbf{T}\text{max} - \mathbf{T}\text{min})^{0.5} \bullet \text{Ra}$$

ETo_{H}: evapotranspiración del cultivo de referencia (césped) (mm/mes) deducida por la fórmula de Hatgreaves.

Tmax-**T**min: amplitud térmica = media mensual temperaturas máximas - media mensual temperaturas mínimas (ºC)

Tmedia: temperatura media del aire (ºC)

La radiación solar extraterrestre (**R**a) se deduce aplicando la misma fórmula que se emplea con el método de Penman-Monteith.

XXVII.2.5. El coeficiente de cultivo (Kc)

Como ya se apuntaba al inicio del capítulo, la ETP no sólo es función de factores meteorológicos sino también del tipo de vegetación asentada en la parcela o zona de estudio. Un último extracto del artículo sobre el modelo SIMPA suscrito por Estrela et alt, que venimos comentando, ilustra la cuestión al respecto.

> *En cuanto a la evapotranspiración potencial se ha utilizado una combinación de los métodos de Thornthwaite y Penman-Monteith, y se ha introducido un* ***coeficiente reductor*** *que tiene en cuenta el efecto de la vegetación…. variable en el espacio, aunque invariante en el tiempo… De esta manera se modificó la evapotranspiración potencial calculada por la fórmula de Penman- Monteith para un cultivo de referencia y se tuvo en cuenta el conocido hecho, demostrado teórica y experimentalmente, de que la evapotranspiración no sólo se controla por factores meteorológicos sino que viene regulada también por el tipo de vegetación.*

XXVII.2.5.1.- Kc en el MHSup

Entre los SIG que maneja el modelo, el mapa de cultivos tiene asociada una tabla con unas cuarenta especies. En el mapa de vegetación se reflejan tanto especies aisladas como «comunidades», componiendo entre ambas una tabla con alrededor de 150 elementos. Hasta donde ha permitido la información disponible, a cada uno de los cultivos y a cada una de las especies vegetales se les ha asignado su correspondiente coeficiente de cultivo (Kc) extraído de tabulaciones al uso.

Ahora bien, el propio Manual de la FAO señala que:

El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre ***completamente*** *la superficie del suelo.*

Típicamente, la vegetación natural posee área foliar menor o fracción de cobertura del suelo menor que en el caso de la vegetación agrícola, la cual ha sido desarrollada para condiciones de ***completa*** *cobertura y en condiciones de humedad del suelo que favorecen un crecimiento vigoroso. Esto es especialmente cierto para los casos de climas áridos y semiáridos. Cuando* ***la densidad*** *entre plantas o el area foliar sea menor que las asociadas a condiciones de completa cobertura…, se debe reducir el valor de Kcb para los casos de la vegetación natural.*

En el Manual también se advierte que: *debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de Kc.*

En la misma línea, en el modelo SIMPA se recoge que …*Este coeficiente* (Kc) *tiene en cuenta el efecto de la vegetación, ya que no es lo mismo la evapotranspiración potencial en una zona sin vegetación que en otra densamente cubierta por ésta…* Al respecto, se aplica una reducción generalizada del 20% en aquellos casos de *espacios con poca vegetación* (Tabla 58 apartado XXIV.8.1.2.).

Resulta que -en la isla de Tenerife- fuera de los bosques de monteverde y de laurisilva donde la vegetación cubre prácticamente toda la superficie del suelo, abundan los *espacios con poca vegetación* e incluso con «muy escasa» vegetación.



Figura 211. Cañada de «Diego Hernandez».
Unas cuantas retamas es toda la vegetación que se asienta en esta extensa superficie de terreno

En la misma línea, también cabe comentar que en determinados entornos de los bosques de coníferas –p.ej. la dorsal que divide la isla– la densidad del arbolado que se asienta sobre ellos apenas deja espacio para que algún rayo de sol alcance a iluminar el suelo; por el contrario, en algunas parcelas de la vertiente sur, la separación entre las unidades de arbolado es tal que la superficie de suelo que ilumina el sol entre los pinos supera con creces a la de sombras.

Tales limitaciones y contrastes, de tenerse en consideración, tienen que dar lugar, necesariamente, a variaciones sensibles en algunos de los valores de Kc que

han sido deducidos para su aplicación en, digamos, condiciones «tipo».

No contamos con mediciones del área foliar; pero sí se dispone de la *densidad entre plantas* (densidad de vegetación) en todas las celdas de la retícula del MHSup. Uno de los parámetros introducidos en su día, en las tablas que acompañan a los SIG con que opera el MHsup, es la densidad de vegetación, deducida de la forma expuesta en el apartado XXIV.4.2 de este bloque. A partir de ella se obtuvo un nuevo parámetro: el coeficiente de densidad de vegetación (KE = f(DV)) para su uso en el *balance en el suelo*, tal como veremos más adelante (apartado XXVIII.4). Su cometido es, precisamente, distinguir los porcentajes de evaporación y transpiración que corresponden a una determinada densidad de vegetación; de tal modo que en un bosque con una densidad de vegetación estimada del 100%, el 40% de la ETP es evaporación (KE = 0,4) y el resto (60%) transpiración (1-KE = 0,6).

Pues bien, aplicando al coeficiente de cultivo (Kc) un nuevo coeficiente corrector (Kd) equivalente a: **Kd = 1,4 – KE** comprobamos que el coeficiente de vegetación de cálculo (Kcc = Kc · Kd)) adquiere los siguientes valores:

Con DV = 100% → KE = 0,4

Kcc = Kc · Kd = Kc · (1,4 – KE) = Kc · (1,4 – 0,4) = Kc · 1 = **Kc**

En suelos totalmente cubiertos por vegetación no cabe pues reducción de Kc. Por el contrario, cuando no existe vegetación:

Con DV ≈ 0 → KE = 1

Kcc = Kc · Kd = Kc · (1,4 – KE) = Kc · (1,4 – 1) = Kc · 0,4 = 0,4 · **Kc**

XXVII.2.6. La ETP corregida a partir de Kcc

La Evapotranspiración Potencial que participa en el *balance en el suelo* ($ETP_{PM}C$) se deduce, pues, a partir de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) -deducida por cualquiera de las tres fórmulas- a la que se afecta con un coeficiente de cultivo corregido en función de la densidad de vegetación (solo natural).

$$\mathbf{ETP_{PM}C = ETo \cdot Kcc}$$

$$\mathbf{ETP_{T}C = ETo_{T} \cdot Kcc}$$

$$\mathbf{ETP_{H}C = ETo_{H} \cdot Kcc}$$

En modelos climáticos cuyo período de cálculo se inicie en o a partir del año 1999 se opera con el de Penman-Monteith. En los modelos históricos se combinan los métodos de Thorntwaite y Penman-Monteith.

CAPÍTULO XXVIII
EL BALANCE EN EL SUELO

XXVIII.1. INTRODUCCIÓN

Dos circunstancias, en especial, reducen considerablemente la estancia del agua de lluvia sobre la superficie del terreno insular: por un lado, la alta permeabilidad, en general, de la roca superficial facilita la infiltración inmediata del agua de lluvia hacia el subsuelo; por otro, las pronunciadas pendientes del terreno dan lugar a una rápida evacuación de las aguas hacia el mar cuando se genera escorrentía. Consecuentemente, de los dos componentes de la evapotranspiración, sólo la transpiración está activa de continuo allá donde existe algún tipo de vegetación y el subsuelo dispone de agua para alimentar las raíces; por el contrario, la evaporación sólo tiene lugar durante los pocos días al año con lluvia y los que, a continuación de ésta, se mantienen con la capa más superficial del suelo todavía húmeda.

Tenidas en cuenta éstas y otras circunstancias, se consideraba imprescindible que al establecer el *balance en el suelo* (BAS) el **día** debía ser el intervalo de trabajo y que, además, la «evaporación» y la «transpiración» debían analizarse por separado.

La escasa información disponible fue, sin duda, la causa por la que los primitivos balances en la isla se elaboraron a partir de datos climatológicos mensuales. Desde hace décadas, la red de estaciones pluviométricas de lectura diaria o continua viene mejorando en número de estaciones y distribución territorial. Aunque los actuales balances se han llevado a cabo considerando el mes como período de trabajo se ha operado teniendo en cuenta el **número real de días de lluvias** (NP).

Al objeto de analizar por separado los fenómenos de evaporación y transpiración se llegó a definir un **coeficiente de evaporación** (KE) en función de la superficie de suelo cubierta por vegetación y la densidad de ésta. A partir de dicho coeficiente se calcularon por separado la Evaporación y la Transpiración dando lugar, por agregación de ambas, a la que hemos denominado para este trabajo: **Evapotranspiración para el cálculo del BAS** (**ETP_{BAS}**).

La información de salida se complementa con el módulo de **capacidad de reserva máxima** (**RX**) de los suelos y el **coeficiente de absorción de agua** (**KR**). El «balance en el suelo» concluye con la deducción de la **Precipitación Eficaz (PE)** debida a la lluvia convencional: **PE = PC - ETRC – R**.

Dentro de la malla de la retícula del MHSup se localizan algunas celdas **sumidero** en las que el agua de escorrentía, propia y entrante, no tiene salida por gravedad hacia ninguna celda vecina por coincidir con puntos bajos de la topografía. La construcción del BAS se hace aparte del de las celdas «normales».

XXVIII.2. LA ETP EN EL «BAS»

XXVIII.2.1. Número de días efectivos de Evaporación

Un nuevo parámetro interviene en el proceso de cálculo junto con el número de aguaceros al mes (NDPC(m)) y el número de días del mes (NT(m)):

NEVm,n...: Número de días efectivos de evaporación

Se estima que el número de días en los que va a existir en el suelo agua para evaporar no se limita a los días de lluvia; la capa de suelo susceptible de ser afectada por el fenómeno evaporante se mantendrá húmeda tanto más tiempo cuanto más días de lluvia al mes hayan existido. Además si en la zona que limita la celda hay ocurrencia de Precipitación de Agua de Niebla (PAN) también esos días habrá agua para evaporar. Se habilitaron las siguientes funciones al respecto:

<u>En las celdas «normales» (IØ ≠ 275)</u>

Si PAN(m,n) =Ø → **NEV(**m,n) = (4 • **NDPC**(m,n) / 3) + 0.5

Si PAN(m,n) >Ø → En cuanto a la lluvia horizontal sólo se consideran los días en los que se debe a las nubes del régimen de los vientos alisios (NDNA) pues los de las de inestabilidad ya estarían contabilizados como aguaceros diarios.

NDNA = (NDHR>96% – NDPC>5mm)

NDHR>96%: número de días en los que la humedad relativa del aire supera el 96%.

NDPC: número de días en los que los registros de precipitación convencional superan 5 mm.

Por tanto:

NEV(m,n) = (4 • **NDPC**(m,n) / 3) +

+ 4 • (**NDHR**(m,n)>96 – **NDPC(**m,n)>5) / 3 **+** 0,5

Si NEV(m,n) > NT(m) → **NEV(**m,n) = **NT**(m)

<u>En las celdas «sumidero» (IØ = 275)</u>

En el suelo que limitan estas celdas, al agua recibida los días de precipitación se unen las escorrentías que acceden de las celdas vecinas, dando lugar a «lagunetas» cuyo tiempo de existencia depende de la cantidad de agua que acumulen (Escorrentía Circulante: EC) y, de alguna manera, del umbral de escorrentía que tenga asociado (PØ(n)). Teniendo en cuenta que PØ representa la tasa de agua a partir de la cual cesa la infiltración y se inicia la escorrentía, la relación EC/PØ (agua disponible/ cantidad de agua capaz de infiltrarse al día) sería, en principio, un indicador de ese tiempo extra de permanencia de agua en las celdas «sumidero». Ahora bien, el valor de PØ se reduce sucesivamente con el paso de los días. En

las celdas normales esa reducción significa aumento de la escorrentía circulante en detrimento de la infiltración; mientras que en las celdas «sumidero» el agua, al no tener escape, permanece en ella, por lo que la disminución del PØ no implica la reducción del volumen de agua infiltrada, sino más tiempo de estancia del agua en la «laguneta». Por otro lado, el fenómeno evaporante sigue activo, reduciendo el volumen de agua disponible y en consecuencia su tiempo de estancia sobre el terreno. Son pues dos efectos contrapuestos.

En los balances hidrológicos que se han venido elaborando con cada nueva versión del MHSup, en las celdas «sumidero» del interior de Las Cañadas del Teide se deduce que el agua de lluvia que reciben estas «lagunetas» se reparte casi por igual entre infiltración y evaporación; con lo que puede presumirse que los mencionados efectos generan resultados equivalentes, aunque de signo contrario.

Finalmente se adoptó la premisa de inicio: NEVextra **=** **EC**(m,n) / **PØ**(n).

Si PAN(m,n) = Ø → **NEV**(m,n) = **NDPC(**m,n) + **(EC**(m,n) / **PØ(**n))

Si PAN(m,n) > Ø → **NEV**(m,n) = **NDPC**(m,n) + (**EC**(m,n)/ **PØ(**n)) +

+ 4 • (**NDH**(m,n)>96 – **NPD**(m,n)>5)/ 3 + 0,5

Ahora bien, el número de días evaporantes (NEV(m,n)) no puede superar los días del mes (NT(m)). Cuando lo supera se hacen equivalentes uno y otro y los días excedentes (NEV(m,n) - NT(m)) se acumulan al mes siguiente. Es decir:

Si NEV(m,n) > NT(m) → **NEV(**m,n) = **NT(**m) y además

NEV(m+1,n) = **NDPC**(m+1,n) + **EC**(m+1,n) / **PØ**n **+**

+ 4 • (**NDHR**(m,n)>96 – **NDPC(**m,n)>5) / 3 + 0,5 **+** (**NEV**(m,n) **–** **NT**(m))

XXVIII.2.2. ETP = Evaporación (EV) + Transpiración (TR)

El valor del término evaporante en cualquiera de las celdas vendrá dado por:

EV(m,n) = **ETPc**(m,n) • **KE**(n) • **NEV(**m,n)

Y la transpiración mediante:

TR(m,n) = (1 – **KE(**n)) • **ETPc**(m,n)

La **Evapotranspiración Potencial de cálculo** con la que opera el MHSup cuando se construye el balance en el suelo se deduce a partir de la suma de ambas:

$$\mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) = \mathbf{EV}(m,n) + \mathbf{TR}(m,n)$$

XXVIII.3. ESTRUCTURA DEL BAS

XXVIII.3.1. Consideraciones

Por tratarse el MHSup de un modelo «Lluvia–Infiltración» la participación del BAS en el cálculo de la Recarga es el factor diferencial respecto de los modelos «Lluvia–Escorrentía» que se formulan en otras latitudes. En éstos, la Recarga al acuífero se deduce, generalmente, a partir de una función que responde a una determinada ley de infiltración; en el MHSup la Recarga es la variable incógnita en la resolución del Balance Hidrológico Insular (BHI) en el que las otras dos variables hidrológicas principales: la Evapotranspiración y la Escorrentía se reparten junto con aquella el agua de lluvia convencional y horizontal. Respecto de la Escorrentía, nos hemos volcado en aproximar su alcance cuantitativo y territorial; no obstante, al final hemos comprobado su escasa cuota de participación respecto de las otras dos variables, por lo que los posibles errores en su definición apenas afectarían a los valores deducidos para la Recarga. La Evapotranspiración, sin embargo, es elemento del BHI que obtiene mayor producto del recurso lluvia, con lo que su evaluación, necesariamente empírica, debe realizarse con las mejores garantías pues los desvíos en los resultados afectarían con idéntico alcance cuantitativo y de reparto territorial a nuestra variable incógnita: la Infiltración Efectiva o agua de Recarga.

Se ha puesto mucho énfasis en responsabilizar de esos posibles desvíos al uso de determinadas metodologías en el cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP) y, ciertamente, se deducen apreciables diferencias en los resultados que se deducen de unas a otras; diferencias que afectan, indirectamente y no en la misma proporción, a la valoración final de la evapotranspiración que se produce en efecto. Sin embargo, los errores derivados de un mal planteamiento del *balance en el suelo* sí repercuten directamente en el cálculo de la Evapotranspiración Real (ETR). Es pues primordial establecer correctamente la estrategia para su construcción.

XXVIII.3.2. Periodicidad

Por las circunstancias apuntadas en el apartado introductorio se estableció el **día** como período de trabajo en la resolución del BAS.

En la fecha en la que se inició la construcción del MHSup las estaciones pluviométricas de lectura diaria en Tenerife sólo eran abundantes en la zona de medianías a costa; por encima –donde se miden precisamente, las mayores precipitaciones- la mayoría eran de lectura mensual. En estas últimas se extrapoló el número de días de lluvia al mes desde las estaciones diarias más cercanas.

XXVIII.3.3. Variables y Parámetros

PC(m,n): . . . .: Precipitación del mes «m» en la celda «n»

PAN(m,n):. . .: Precipitación de Agua de Niebla del mes «m» en la celda «n»

ETP$_{BAS}$(m,n) .: Evapotranspiración Potencial de Cálculo

EP(m,n) . . . .: Escorrentía propia de la celda «n»durante el mes «m»

EC(m,n) . . . .: Escorrentía Circulante durante el mes «m» en la celda «n»

FE(m,n). . . . .: Flujo de Entrada a la celda «n» (sumidero) en el mes «m»

NT(m) . . . . . .: Número de días del mes «m»

NEV(m,n) . . .: Número de días de Evaporación efectiva en el mes «m»

RX(n) . . . . . .: Reserva máxima del suelo correspondiente a la celda «n»

KR(n) . . . . . .: Coeficiente de absorción de agua de reserva en la celda «n»

RI(m,n) . . . . .: Reserva de agua en el suelo al inicio del mes «m» en la celda «n».

RF(m,n). . . . .: Reserva de agua en el suelo al final del mes «m» en la celda «n».

Δ. . . . . .: Excedente de agua retenida en una celda «sumidero» no consumida ni por **ETR** ni por la Infiltración (**IN)** en el mes anterior.

XXVIII.3.4. Premisas de partida

Se establecen tres premisas de partida:

RI(1,n)=Ø..: La reserva de agua al inicio del mes de octubre del período de análisis en cualquier celda será siempre nula.

RI(m,n) = **RF**(m-1,n)..: El valor de la reserva de agua al inicio de cualquier mes deberá ser igual al valor de la reserva final deducida en el mes anterior.

La Evapotranspiración se nutre del agua disponible en el suelo y del agua de reserva almacenada en el suelo edáfico.

XXVIII.4. PROCESO DE CÁLCULO

XXVIII.4.1. introducción

El BAS ofrece tres alternativas en las que la Evapotranspiración de Cálculo (ETP_{BAS}) es el elemento bisagra en casi todas ellas. Su resolución permite averiguar dentro de cada celda el valor de tres elementos:

1. La Evapotranspiración Real (**ETR**)
2. La Reserva Final de agua (**RF**)
3. La Precipitación Eficaz (**PE**)

Este último elemento es partícipe directo en el Balance general pues a partir de él se deduce la Infiltración Efectiva o Recarga: la incógnita de dicho Balance.

El proceso se inicia relacionando la evapotranspiración potencial (ETP_{BAS}) con la precipitación, tanto convencional (PC) como indirecta u horizontal (PAN) para averiguar cuanta de éstas corresponde a la evapotranspiración real del mes de cálculo (ETR). A continuación y previa determinación de la escorrentía generada en la celda (EP), se asigna a la reserva del suelo todo o parte del agua de lluvia restante, pero limitando la cantidad a asignar al déficit de reserva existente en el suelo al principio de dicho mes (RX-RI). El BAS concluye en cada celda con la deducción de la Precipitación Eficaz (PE).

XXVIII.4.2. El BAS en celdas «normales» (IØ≠275)

En una celda «n» el agua accesible a la evapotranspiración en el mes «m» se corresponde, lógicamente, con la lluvia de ese mes (convencional más horizontal) menos la fracción de esa lluvia convertida en escorrentía dentro de la celda (EP).

Según que el valor de la Evapotranspiración Potencial (ETP_{BAS}) en la celda «n» y el mes «m» sea igual, mayor o menor que el agua disponible para evapotranspirar, pueden darse hasta tres situaciones.

A.) Si → $PC(m,n) + PAN(m,n) - EP(m,n) = ETP_{BAS}(m,n)$ →

El agua disponible satisface totalmente la demanda evapotranspirante, sin que sobren recursos para completar la reserva de agua del suelo (la reserva a final de mes coincide con la del inicio) o para infiltrarse. La única precipitación eficaz en la celda es la escorrentía que se genera en su interior (EP).

$$\rightarrow \begin{cases} \mathbf{ETR}(m,n) = PC(m,n) + PAN(m,n) - EP(m,n) = \mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) \\ \mathbf{RF}(m,n) = \mathbf{RI}(m,n) \\ \underline{\mathbf{PE}(m,n)} = PC(m,n) + PAN(m,n) - ETR(m,n) = \mathbf{EP}(m,n) \end{cases}$$

B.)Si → $PC(m,n) + PAN(m,n) - EP(m,n) > ETP_{BAS}(m,n)$ →

En este caso, el agua disponible excede a la que demanda la evapotranspiración. El sobrante alimenta en primer lugar la reserva del suelo.

$$\begin{cases} \mathbf{ETR}(m,n) = \mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) \\ \\ \mathbf{RF}(m,n) = \mathbf{RI}(m,n) + \mathbf{(PC}(m,n) + \mathbf{PAN}(m,n) - \mathbf{EP}(m,n) - \mathbf{ETP}_{BAS}(m,n)\mathbf{)} \end{cases}$$

b1.) Si ese sobrante ha sido el justo para satisfacer el máximo de la que pueda absorber el suelo o incluso ha sido menor, no queda remanente para la recarga; circunstancia que se comprueba comparando la reserva final con dicho máximo. La precipitación eficaz vuelve a corresponderse con la escorrentía generada en la propia celda (EP):

Si $RF(m,n) \leq KR(n) \bullet RX(n)$ → $\mathbf{PE}(m,n) = \mathbf{EP}(m,n)$

b2.) Si por el contrario, después de alimentar la reserva del suelo esta queda colmatada, el excedente a la reserva máxima es agua disponible para la recarga. A la escorrentía propia de la celda se le une dicho excedente para conformar la precipitación eficaz.

Si $RF(m,n) > KR(n) \bullet RX(n) \rightarrow$

$$\begin{cases} \mathbf{RF}(m,n) = \mathbf{KR}(n) \bullet \mathbf{RX}(n) \\ \text{Excedente} = \text{reserva final incrementada} - \text{reserva final real} \\ RI(m,n) + (PC(m,n) + PAN(m,n) - EP(m,n) - ETP_{BAS}(m,n)) - KR(n) \bullet RX(n) \\ \text{A la escorrentía propia (EP) se une el Excedente para conformar la PE} \\ \mathbf{PE}(m,n) = RI(m,n) + (PC(m,n) + PAN(m,n) - EP(m,n) - ETP_{BAS}(m,n)) - \\ \qquad - KR(n) \bullet RX(n) + EP(m,n) = \\ \quad = \mathbf{PC}(m,n) + \mathbf{PAN}(m,n) - \mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) - (\mathbf{KR}(n) \bullet \mathbf{RX}(n) - \mathbf{RI}(m,n)) \end{cases}$$

C.) Si $\rightarrow PC(m,n) + PAN(m,n) - EP(m,n) < ETP_{BAS}(m,n) \rightarrow$

En este tercer caso, no hay suficiente agua disponible para satisfacer la demanda evapotranspirante por lo que necesariamente se ve afectada el agua contenida en el suelo (reserva):

$$\mathbf{ETR}(m,n) = \mathbf{PC}(m,n) + \mathbf{PAN}(m,n) - \mathbf{EP}(m,n) + \mathbf{RI}(m,n)$$

c.1). Ahora bien, puede suceder que aun suministrándose de todo el agua de reserva no se satisfaga por completo la evapotranspiración. El suelo se queda sin reserva y la única precipitación eficaz existente será la escorrentía generada en la propia celda

$$\text{Si } ETR(m,n) \leq ETP_{BAS}(m,n) \rightarrow \begin{cases} \mathbf{RF}m,n = \mathbf{Ø} \\ \mathbf{PE}m,n = \mathbf{EP}m,n \end{cases}$$

c.2). Otra opción es que la evapotranspiración no necesite de todo el agua de reserva. La reserva inicial disminuirá en una cantidad de agua equivalente a la de agua de lluvia (convencional + horizontal) que le ha faltado a la evapotranspiración para completar su demanda.

Si $ETR(m,n) > ETP_{BAS}(m,n)$

$$\begin{cases} \mathbf{ETR}(m,n) = \mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) \\ \mathbf{RF}(m,n) = \mathbf{RI}(m,n) - (\mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) - \mathbf{PC}(m,n) - \mathbf{PAN}(m,n) - \mathbf{EP}(m,n)) \\ \mathbf{PE}(m,n) = \mathbf{EP}(m,n) \end{cases}$$

XXVIII.4.3. El BAS en las celdas SUMIDERO (IØ=275)

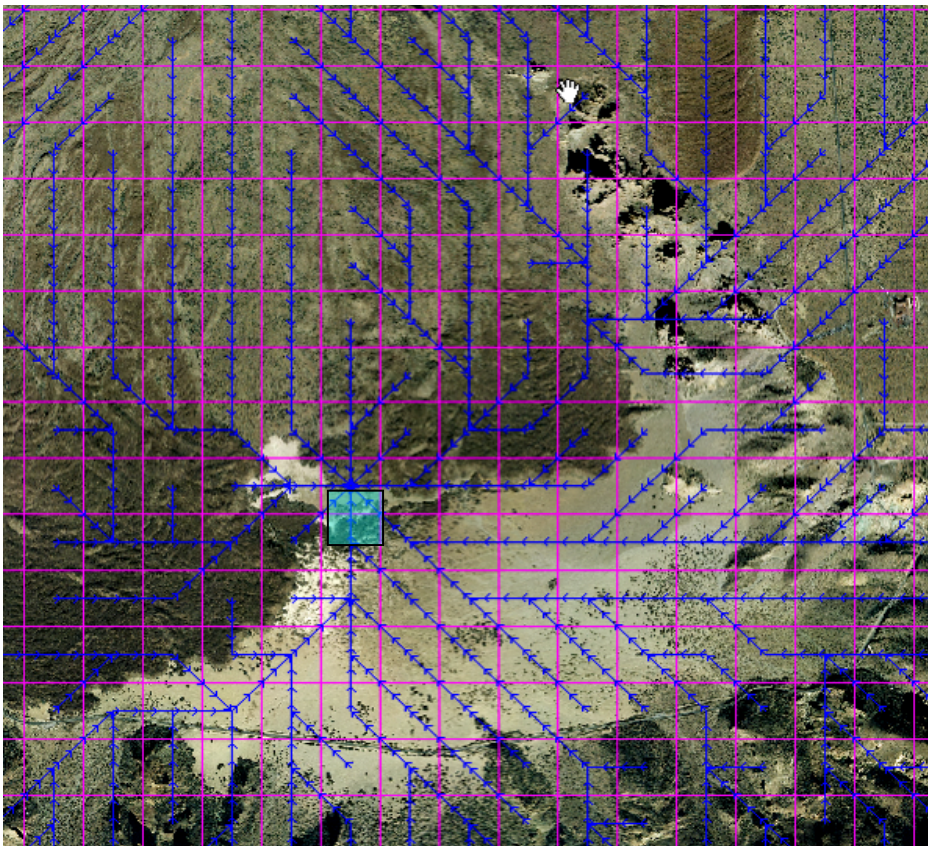


Figura 212. Celda sumidero de las escorrentías generadas en la cuenca endorréica Llano de Ucanca.
En la celda confluyen las aguas que descienden desde las faldas de la Montaña de El Teide por el norte y el oeste; desde los Roques de García por el este y desde la pared de roca fonolítica que cierra el circo de Las Cañadas por el sur.

El flujo de entrada a la celda (FE) es la suma de todas las escorrentías de la cuenca.

En las celdas «sumidero» la infiltración en cauces (IC) se hace coincidir con la escorrentía circulante, que a su vez coincide con el flujo de entrada (EC = FE), para que el flujo de salida sea nulo (FS = EC – IC = 0) y toda esa escorrentía circulante sea consumida por la evapotranspiración y la infiltración.

El BAS en estas celdas se plantea con los mismos acuerdos que en las «normales» con la diferencia de que en éstas la escorrentía no está sujeta a evapotranspiración; en cambio en las de «sumidero», el flujo de entrada (FE), que no deja de ser escorrentía, si lo está. El agua a disposición de la evapotranspiración la componen además de la lluvia, convencional (PC) y/o horizontal (PAN), el flujo de agua de

entrada (FE) a la celda y el excedente de agua no consumida ni por **ETR** ni por la Infiltración (**IN)** en el mes anterior**: PC**(m,n) + **PAN**(m,n) + **FE**(m,n) + Δ(m-1,n)

También aquí pueden darse tres situaciones:

A.) Si PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + Δ(m-1,n) = ETP_{BAS}(m,n)→

Todo el agua acumulada en la celda se evapotranspira. La reserva permanece intacta y la recarga no se activa.

$$\begin{cases} \textbf{ETR}(m,n) = PC(m,n) + PAN(m,n(m,n) + FE(m,n) + \Delta(m\text{-}1,n) = \textbf{ETP}_{BAS(}m,n) \\ \quad \textbf{RF(m,n) = RI(m,n)} \\ \textbf{PE}(m,n) = \textbf{Ø} \\ \Delta(m,n) = \textbf{Ø} \end{cases}$$

B.) Si PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + Δ(m-1,n) > ETP_{BAS}(m,n) →

El agua disponible excede de la que demanda la evapotranspiración del mes «m» y el sobrante alimentará bien la reserva de agua en el subsuelo y la recarga del acuífero planteándose como en el caso de las celdas «normales» dos alternativas según que la reserva máxima esté satisfecha o no.

Ahora bien, recordemos que en las celdas «sumidero» para averiguar el número de días en los que la evaporación se hace efectiva (NEV) –la «laguneta» dispone de agua que evaporar– al número de días de lluvia (NDPC) se le añadían los días de permanencia del agua de lluvia acumulada; tiempo extra que estimábamos relacionando la escorrentía circulante con el umbral de escorrentía de la celda: **EC**(m,n) / **PØ**(n). Sucede que EC se corresponde con el flujo de entrada de agua (FE) aportado por todas y cada una de las arterias de drenaje que confluyen en el recinto y FE puede ser considerablemente alto. En estos casos el número de días que el agua se mantiene en superficie supera los días del mes (NT) de cálculo; es decir, NEV debe repartirse entre ese mes y los siguientes.

Caben pues dos nuevas alternativas:

b.1.) Si NEV(m,n) ≤ NT(m) es la misma situación que en las celdas «normales» : el agua sobrante la capta el subsuelo para alimentar la reserva y según que esta esté o no cumplida habrá o no agua para la recarga.

$$\begin{cases} \textbf{ETR}(m,n) = \textbf{ETP}_{BAS}(m,n) \\ \textbf{RF}(m,n) = RI(m,n) + (PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) \textbf{ +} \Delta(m\text{-}1,n) - \\ \qquad\qquad - ETP_{BAS}(m,n) \\ \Delta(m,n) = \textbf{Ø} \end{cases}$$

b.1.1.) Si el agua sobrante ha sido la justa o menor que la que satisface el máximo que demanda el subsuelo, no queda remanente para la recarga:

Si $RF(m,n) \leq KR(n) \bullet RX(n) \rightarrow \underline{\mathbf{PE}(m,n) = \emptyset}$

b.1.2.) Si ha sido mayor, la reserva queda cumplimentada y además existe agua para la recarga; esto es, se cuenta con precipitación efectiva:

Si $RF(m,n) > KR(n) \bullet RX(n) \rightarrow$

$$\begin{cases} \mathbf{RF}(m,n) = KR(n) \bullet RX(n) \\ \mathbf{PE}(m,n) = (PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + \Delta(m\text{-}1,n)) - \\ \qquad\qquad - ETP_{BAS}(m,n) - (KR(n) \bullet RX(n) - RI(m,n)) \end{cases}$$

b.2.) Si $NEV(m,n) > NT(m)$ quiere decir que el mes siguiente la «laguneta» todavía dispondrá de agua para evapotranspirar o infiltrarse. Es decir el agua disponible se incrementa con el excedente retenido en la «laguneta» que no ha sido consumido ni por la evapotranspiración (**ETR)** ni por la Recarga o Infiltración efectiva (**IN)** en el mes anterior: Δ

$$\begin{cases} \mathbf{ETR}m,n = \mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) \\ \mathbf{RF}(m,n) = RI(m,n) + (PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + \Delta(m\text{-}1,n)) - \\ \qquad\qquad - ETP_{BAS}(m,n) \\ \Delta(m\text{-}1,n) = \emptyset \end{cases}$$

b.2.1.) Si el agua sobrante de la ETR ha sido la justa o menor que la que satisface toda la reserva, no queda remanente para la recarga (Preciptación Eficaz):

$$\text{Si } RF(m,n) \leq KRn \bullet RX(n) \rightarrow \quad \begin{cases} \mathbf{PE}(m,n) = \mathbf{\emptyset} \\ \Delta(m\text{-}1,n) = \emptyset \end{cases}$$

b.1.2.) Si ha sido mayor, la reserva está completa y queda precipitación eficaz:

$$\text{Si } RF(m,n) > KRn \bullet RXn \rightarrow \quad \begin{cases} \mathbf{ETR}(m,n) = \mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) \\ \mathbf{RF}(m,n) = KRn \bullet RXn \end{cases}$$

Agua disponible total del mes: $PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + \Delta(m\text{-}1,n)$

Agua susceptible de infiltrar, evaporar o alimentar la reserva en el mes:

$(PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + \Delta(m\text{-}1,n)) \bullet NT(m) / NEV(m,n)$

Restándola el agua evapotranspirada y la captada para la reserva del suelo edáfico deducimos la precipitación eficaz del mes: $\mathbf{PE}m,n =$

$$= (PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + \Delta(m\text{-}1,n)) \bullet NT(m) / NEV(m,n) - \\ - ETP_{BAS}(m,n) - (KRn \bullet RXn - RIm,n)$$

El agua disponible del mes no consumida por la evapotranspiración ni por la reserva y, tampoco, convertida en precipitación eficaz, formará parte de la disponibilidad de agua del mes siguiente:

$$\Delta(m,n) =$$

$$= (NEV(m,n) - NT(m) \bullet (PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + \Delta(m-1,n)$$

C.) Si $PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + \Delta(m-1,n) < ETP_{BAS}(m,n) \rightarrow$

No se dispone de agua suficiente para satisfacer toda la demanda evapotranspirante por lo que ésta se nutre también del agua contenida en la reserva:

$$\begin{cases} \mathbf{ETR}(m,n) = PC(m,n) + PAN(m,n) + FE(m,n) + \Delta(m-1,n)) + RI(m,n) \\ \mathbf{PE}(m,n) = \mathbf{\emptyset} \\ \Delta(m-1,n) = \emptyset \end{cases}$$

c.1). La evapotranspiración necesita de sólo una fracción del agua de reserva. La ETR se salda totalmente y la reserva final en el suelo es la inicial una vez descontada esa fracción.

$$\text{Si } ETR(m,n) > ETP_{BAS}(m,n) \rightarrow$$

$$\begin{cases} \mathbf{ETR}(m,n) = \mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) \\ \mathbf{RF}(m,n) = \mathbf{RI}(m,n) - (\mathbf{ETP}_{BAS}(m,n) - (\mathbf{PC}(m,n) + \mathbf{PAN}(m,n) + \mathbf{FE}(m,n)) \end{cases}$$

c2). Puede ser que aún consumiendo todo el agua de reserva no se satisfaga toda la evapotranspiración; entonces:

$$\text{Si } ETR(m,n) \leq ETP_{BAS}(m,n) \rightarrow \mathbf{RF}(m,n) = \mathbf{\emptyset}$$

XXVIII.5. LA EVAPOTRANSPIRACIÓN «REAL» (ETR) Y LA PRECIPITACIÓN EFICAZ (PE)

En todas las situaciones planteadas al construir el «BAS», tanto en las celdas «normales» como en las celdas «sumidero», se acaba deduciendo la reserva de agua en el suelo edáfico en la celda «n» al final del mes «m» (**RF**(m,n)), la Evapotranspiración Real (**ETR**) y la Precipitación Eficaz (**PE**).

Esta última susceptible de convertirse en agua de Escorrentía (**ES**) y/o en Infiltración Efectiva (**IE**) o agua de Recarga. La fracción que corresponde a una y otra se obtiene de la resolución del «balance hidrológico general» en este caso relativo a la isla de Tenerife (BHI).

CAPÍTULO XXIX
LA INFILTRACIÓN EFECTIVA DEDUCIDA DE LA RESOLUCIÓN DEL BHI EN EL MHSUP

XXIX.1. RESOLUCION DEL BHI

Toda la información que ha precisado el MHSup para construir los archivos que intervienen en el BHI se halla contenida en varias bases de datos relacionadas por un campo que, generalmente, coincide con la localización de las celdas. Mediante programas auxiliares se procesan los datos de partida, previa discretización de las cuencas y de sus arterias de drenaje, para generar nuevas bases de datos en donde se almacenan, mes a mes, cada uno de los parámetros, tanto de carácter secundario (ETP, EP…) como los fundamentales que intervienen en la resolución final del balance: Precipitación Eficaz (PE), Flujo de Entrada (FE) y Flujo de Salida (FS) en cada celda.

Evaluadas estas tres variables, la deducción de la Infiltración Efectiva (IE) o Recarga a través de la resolución del balance es inmediata: IE = PE + FE - FS. Operación ésta que el MHSup realiza con secuencias de un mes, cuenca por cuenca y dentro de cada una de éstas, celda por celda; iniciando el proceso en las de cabecera de cuenca y finalizándolo en las de desembocadura.

XXIX.2. AGUA DE RECARGA

XXIX.2.1. Concepto

Cuando, a través del balance en el suelo, se deduce la Precipitación Eficaz ya ha sido detraída previamente la fracción de agua de lluvia infiltrada que va a ser retenida como reserva para el consumo de la vegetación. Por tanto hay que entender que el agua de infiltración que se deduce de la resolución del balance hídrico es aquella que supera esa retención superficial y alcanza subsuelos más profundos, conectando con el sistema acuífero general; es decir se trata del agua de Recarga.

XXIX.2.2. Evaluación

Si en cada celda se sustrae a la Precipitación Eficaz (PE) la que se convierte en agua de escorrentía, esto es la Escorrentía generada en la Propia celda (EP), y al mismo tiempo se le añade la Infiltración que se produce sobre los Cauces (IC) que la atraviesan, se dispone así de la Infiltración Efectiva (IE) que le llega al acuífero desde esa celda en un mes determinado.

$$\mathbf{IE} = PE - EP + IC$$

Ahora bien, la Escorrentía Circulante (EC) por los cauces de la celda la conforman el Flujo de Entrada (FE) de escorrentías desde las celdas vecinas más la Escorrentía generada en la Propia celda (EP):

$$EC = FE + EP$$

Detrayendo a la Escorrentía Circulante el Flujo de Salida (FS) de escorrentías desde la celda, el resto debe corresponderse con el agua que no ha salido porque se ha Infiltrado hacia el subsuelo en su recorrido por los Cauces (IC) que discurren por la celda.

$$IC = FE + EP - FS$$

Sustituyendo IC en la primera función:

$$\mathbf{IE} = PE - EP + (FE + EP - FS) = PE + FE - FS$$

que relativizada a un mes «m» cualquiera en una celda «n» cualquiera

$$\mathbf{IN}_{m,n} = \mathbf{PE}_{m,n} + \mathbf{FET}_{m,n} - \mathbf{FST}_{m,n}$$

Vimos en los apartados XXVI.4 y XXVI.5 los algoritmos a través de los cuales desde «modelizador» se procede a definir celda a celda los Flujos de Entrada y Salida. Una vez que se dispone en la celda «n» de la precipitación eficaz del mes «m» ($PE_{m,n}$) y de los Flujos de Entrada ($FET_{m,n}$) y salida ($FST_{m,n}$) que se producen durante ese mes, el cálculo de la Infiltración Efectiva o Recarga es inmediato.

XXIX.2.3. Consideraciones finales

La distribución territorial de esa Recarga queda definida a partir de las referencias obtenidas en cada una de las celdas (51.645) que constituyen la malla de la retícula territorial del MHSup. Los mapas de isolíneas, construidos a partir de dichas referencias, ponen de manifiesto el efecto redistributivo que ejerce el fenómeno de la «infiltración en los cauces» sobre la recarga, agrupando o distanciando isolíneas según la intensidad del fenómeno.

CAPÍTULO XXX
LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO Y LAS MODIFICACIONES EN LA RED DE DRENAJE EN EL PROCESO OPERATIVO DEL MHSUP

XXX.1. INTRODUCCIÓN

A partir de la información climatológica histórica disponible en el MHSup es posible construir modelos climáticos completos de distinta duración siempre y cuando no se inicien antes del año hidrológico 1944/45. A su vez, los «***modelos***» pueden llevar asociados una o varias «***hipótesis***» en cuya definición intervienen, entre otros, los parámetros de caracterización del territorio que cubre cada celda. Desde la citada fecha, determinadas actividades –antropogénicas o naturales– han dado lugar a cambios sensibles en la cobertera insular y por consiguiente en el valor de los citados parámetros de caracterización.

Cabe hacer las siguientes distinciones según el tipo de actividad:

Antropogénicas:

- Sobre las cuencas hidrográficas:
  - Cambios de **uso** en el suelo
  - La **repoblación** o la **deforestación** de bosques
  - La **extracción** de áridos
  - Los **incendios** forestales
- Sobre la Red de Drenaje Territorial:
  - la **impermeabilización** del piso del cauce con soleras artificiales en las canalizaciones de barrancos
  - el **cubrimiento** del cauce en las canalizaciones cerradas
  - el **desvío** parcial o total del curso de un cauce hacia otro
  - el **aprovechamiento** parcial o total de las aguas de escorrentía

Naturales:

- Sobre las cuencas hidrográficas:
  - Los **incendios** forestales[28]
- Sobre la Red de Drenaje Territorial:
  - Las grandes riadas

Actividades que pueden afectar al valor original de algún parámetro.

[28] Los incluimos en ambos tipos de actividad, pues de ambas formas se originan estos sucesos.

XXX.2. ACTUALIZACIÓN DE PARÁMETROS EN EL MHSUP

XXX.2.1. Los cambios de uso en el suelo

El MHSup tiene como soporte tres mapas principales de usos del suelo:

de OCUPACIÓN DEL SUELO

de CULTIVOS

de VEGETACIÓN

Los parámetros de caracterización de celdas se deducen a partir del cruce de la información extraída de los tres mapas.

El modelo climático más extenso con el que opera el MHSup se inicia en el año hidrológico 1944/45, fecha de instalación de la red meteorológica insular. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) no aparecieron sino cuatro décadas más tarde. Los tres mapas citados, renovados por sus titulares con periodicidades diferentes, tienen una fecha de edición determinada y, lógicamente, la información que aportan es la que corresponde a dicha fecha. En el MHSup permanecen los que se incorporaron inicialmente. No obstante, el MHSup dispone de una opción de manejo que permite escoger, entre valores fijos o variables en el tiempo, los correspondientes a cada uno de los parámetros de caracterización: Reserva máxima de agua (RX), Constante de Evaporación (KE), Coeficiente de Absorción de Agua (KR), Umbral de Escorrentía (PØc), Umbral de Infiltración (IØc), Capacidad de Derivación (CD), Capacidad de Almacenamiento (CA) y Coeficiente de Cultivo o de Vegetación (Kc). Haciendo uso de esta opción se asignó a cada parámetro el valor que le correspondió en el tiempo[29] a partir del año hidrológico 1944/45.

La información del «día a día», de la que hay que valerse para actuar en el futuro, se complementa con la que aportan las sucesivas actualizaciones de los tres mapas una vez incorporados al MHSup como «capas auxiliares».

XXX.2.2. El cubrimiento e impermeabilización de cauces

La impermeabilización de los cauces con soleras artificiales supone la eliminación –en el tramo canalizado– del fenómeno que hemos denominado *infiltración en cauces*, lo que a su vez supone un incremento del caudal circulante de aguas de escorrentía; aumento este que se ve favorecido por circunstancias colaterales, pues cabe suponer que, en muchos casos, la ejecución de una obra de encauzamiento obedece al cambio de uso del suelo adyacente, generalmente de erial o agrícola a urbano.

[29] El cambio de mayor trascendencia hidrológica, pues afecta a casi todos los parámetros de caracterización, es el que se ha producido en el uso del suelo. En zonas de costa y medianías grandes superficies de suelo rústico o de cultivo se han reconvertido en urbanas o turísticas.

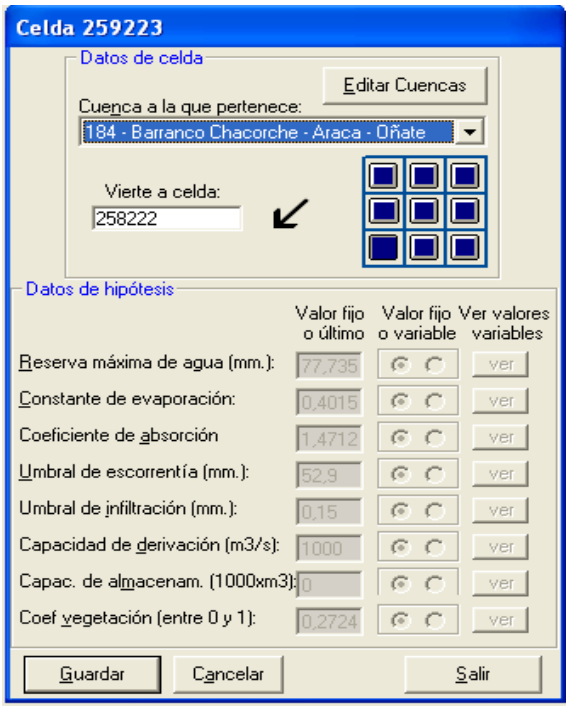


Figura 213. Pantalla de edición de hipótesis en el Modelizador del MHSup.
Esta utilidad permite modificar los datos de caracterización hidrológica de una determinada celda así como modificar gráficamente la red hidrográfica de la isla.

Pues bien, ambas variables hidrológicas: infiltración en cauces y escorrentía se gestionan en el proceso operativo del MHSup a partir del valor de dos parámetros específicos: el *umbral de infiltración en cauces* y el *umbral de escorrentía*; todas las celdas de la retícula del modelo tienen asignado el valor que le corresponde a cada uno. Ambos han tenido sus respectivos apartados descriptivos XXIV.3 y XXIV.2; aquí sólo corresponde reiterar que el MHSu dispone de utilidades que permiten cambiar el valor de los citados parámetros en cada celda.

XXX.2.3. El desvío de cauces

Más determinante si cabe, son los cambios hidrológicos que se derivan de las operaciones de desvío de cauces. El régimen de escorrentías en los tramos afectados del barranco aportador y del barranco receptor da un vuelco en ambos; el primero se ve privado, parcial o totalmente, de corrientes de agua y en el segundo, en cambio, se incrementan los caudales de paso; habrá, por tanto, un antes y un después.

Para esta eventualidad también se dispone en el MHSup de una utilidad que permite la convivencia de distintos estados topológicos a lo largo del tiempo.

XXX.2.4. La captación de las aguas de escorrentía

La captación de las escorrentías líquidas para su almacenamiento, ya sea directo mediante presas, o bien indirecto mediante tomaderos con conductos de aducción hacia balsas externas al barranco, supone una sustancial alteración del régimen de aportaciones existente en el tramo de cauce de aguas abajo antes de la implementación de dichas infraestructuras:

- En el primer caso las escorrentías circulantes se limitarán a las generadas en la subcuenca vertiente al tramo de cauce que nace a pie de presa más las que viertan por vertedero cuando aquella esté colmada.
- En el segundo, las escorrentías generadas en la subcuenca superior al tomadero que excedan a la capacidad de derivación de éste circularán cauce abajo acompañando a las que se generen en la subcuenca inferior.

Para la resolución de tales incidencias en el MHSup se cuenta con otros dos parámetros: la **capacidad de almacenamiento** de la obra de almacenamiento instalada en el cauce y la **capacidad de derivación** del tomadero que intercepta las escorrentías cuyos valores, modificables en el tiempo, están asignados en cada una de las 51.645 celdas que componen la malla reticular de la isla..

XXX.2.5. Los incendios forestales, la repoblación o la deforestación.

Los incendios forestales alteran la superficie del terreno y destruyen la vegetación provocando cambios en las características hidrológicas de las cuencas afectadas. El más inmediato es la disminución del umbral de escorrentía que da lugar a la generación de aguas superficiales con mayores y más regulares caudales. Consecuencia de este nuevo régimen de aportaciones es la desaparición de parte del suelo edáfico facilitando aún más el incremento de los caudales punta de las riadas.

El proceso de transformación lluvia-escorrentía después de la devastación cambia radicalmente. Hasta la recuperación a su estado original es preciso alterar el valor de prácticamente todos los parámetros, usando la opción de manejo del MHSup, ya comentada, que permite la variación en el tiempo de todos ellos.

Una valoración similar cabe hacerla respecto de la repoblación o la deforestación de bosques.

XXX.3. COMENTARIO FINAL

Las alteraciones de la morfología insular, antropológicas o naturales, enumeradas en los apartados precedentes no tienen gran repercusión a la hora de definir los valores medios de las variables hidrológicas que conforman el Balance Hídrico Insular (BHI) si se establecen para períodos extensos. Sí son de tener en cuenta en análisis de cuencas aisladas en los que se concreta el período a considerar.

CAPÍTULO XXXI
CALIBRACIÓN Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

XXXI.1. VARIABLES Y PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN

A escalas temporales grandes (anual o plurianual), al cerrar el Balance Hídrico Insular (BHI) al final del período considerado, se deduce que la Escorrentía (E), la Evapotranspiración (ETR) y la Infiltración Efectiva o Recarga (I) se han repartido entre ellas, aunque de forma desigual, prácticamente todo el agua de lluvia convencional (PC) y horizontal (PAN) que ha recibido el suelo superficial durante ese tiempo; sólo un pequeño porcentaje (menos del 0,2%) del agua de lluvia se habrá derivado a embalses para su almacenamiento (EA). A escalas más cortas (el mes o el día), el *balance en el suelo* nos indica que una parte sustancial del agua infiltrada puede haber sido retenida por el suelo edáfico para formar parte de la Reserva de agua (VR) a disposición de la vegetación.

De todas las variables nombradas, la E y la EA son susceptibles de medición y sólo en algún caso, de forma indirecta, también la I. Es precisamente la I de la que interesa su más correcta definición y por tanto la que debería ser «calibrada».

Ante no poder contar con medidas directas con las que contrastar, la validez de los resultados que se deducen en el MHSup de esta variable hidrológica reside en la fiabilidad con la que se hayan definido el resto de los elementos, principalmente la **ETR** y la **E**. Recordemos que en el MHSup se parte de la igualdad:

$$\mathbf{I = P\ T - ETR - E - VR - EA}$$

Ahora bien, la ETR está directamente relacionada con la lluvia total (convencional + horizontal = PT), con la Evapotranspiración Potencial (ETP) –a su vez relacionada con varias variables climáticas e incluso con la vegetación– y con la variación del agua de Reserva en el suelo (VR) dependiente, también, de determinados parámetros hidrológicos. Por su parte, la E depende de la PC tanto directamente –a mayor PC mayor posibilidad de generarse corrientes de escorrentía– como indirectamente (a mayor grado de humedad del suelo mejores condiciones para la escorrentía), como así también lo es de la PAN; además dos parámetros hidrológicos: el umbral de escorrentía (PØc) y el umbral de infiltración en cauces (IØc) son determinantes en la generación de este recurso hídrico superficial.

En definitiva, reiteramos que la validación de los valores de la I deducidos del MHSup está directamente relacionada con el grado de fiabilidad alcanzado con los valores de las variables climáticas y de los parámetros de caracterización que intervienen en el procedimiento.

XXXI.1.1. Del grado de definición de las variables climáticas

Lógicamente, ninguna de las variables climáticas partícipes en el MHSup son objeto de calibración. Su definición cuantitativa y territorial parte de las medidas registradas en sus respectivas redes de control extrapoladas al conjunto de la isla.

A mayor densidad de estaciones mayor grado de definición; razón por la cual la modelización hidrológica en el MHSup de los últimos **17** años seguida de la de los últimos **30** gozan de las mejores prebendas[30]. Nos remitimos a los primeros capítulos del bloque II de este libro del que, a modo de referencia, hemos importado los mapas con las redes pluviométricas (1/11 km^2) y totales (1/21 km^2) en activo que cubren la información meteorológica a lo largo y ancho de territorio.

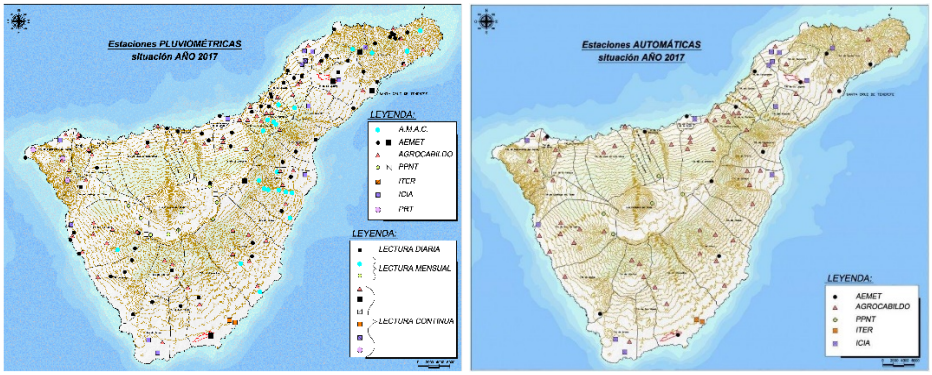


Figura 214. Redes actuales de estaciones pluviométricas y de estaciones totales

XXXI.1.2. De la definición de los parámetros de caracterización

XXXI.1.2.1. Relativos al suelo y a su cobertera

Algunos de los parámetros que intervienen en el procedimiento tampoco son susceptibles de calibración pues sus valores están establecidos de manera permanente en cada celda. Tal es el caso de la Reserva máxima de agua en el suelo (RX) cuyos valores no se han introducido a estima sino que son fruto de una labor de investigación llevada a cabo por la ULL en los suelos de la isla. La constante de evaporación (KE) depende de la densidad de vegetación, que es la que es y no cabe pues especular al respecto; en todo caso sólo cabría actuar con la función que relaciona ambos parámetros, pero no se derivarían cambios apreciables. En parecidos términos cabría comentar el coeficiente de absorción de agua de reserva (KR). La posible modificación de los valores de estos tres parámetros sólo cabe en casos de cambio de uso del suelo pero nunca para hacer pruebas de calibración; en todo caso, sí para hacer «análisis de sensibilidad».

Respecto del coeficiente de cultivo (Kc) el caso es similar al de los tres anteriores; aunque, si bien los valores de los coeficientes relativos a los cultivos y a los bosques en general cuentan con la certidumbre que les imprimen sus respectivas fuentes de origen (apartado XXIV.8), con determinadas familias vegetales, los valo-

[30] De cualquier forma, la escasez de datos climatológicos en los años precedentes a los últimos 30 solo atañe a algunas variables. La disponibilidad de estaciones de precipitación y de temperatura, una vez rellenas las lagunas en sus series de registros, era suficientemente amplia

res de sus coeficientes –sin gran repercusión en el proceso de cálculo– no estaban consensuados y precisaron de ajuste.

XXXI.1.2.2. Relacionados con la Derivación y el Almacenamiento

La capacidad de derivación a embalse (CD) es otro dato fijo. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento (CA) sí admite un cierto tanteo de sus valores.

La mayoría de los embalses comparten aguas subterráneas con aguas superficiales sin que ninguno de los dos recursos tenga reservada una determinada capacidad de almacenamiento. Las celdas donde se localiza un tomadero tienen asignada la capacidad de derivación del conducto que les enlaza con la balsa receptora; en ésta se ha «estimado» cual puede ser la capacidad a disposición de las aguas superficiales. Pues bien, a partir de esa disponibilidad, cada celda con tomadero tiene también asignada una capacidad de almacenamiento, deducida por prorrateo con los restantes tomaderos que vierten a la balsa, en función de sus respectivas capacidades de derivación. Cabe pues una cierta calibración del parámetro CA.

XXXI.1.2.3. Relacionados con la Escorrentía y la Infiltración

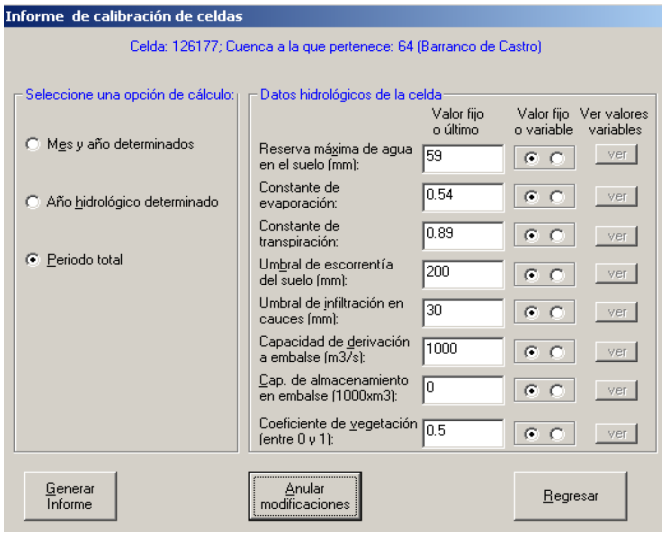
Los valores de los umbrales de escorrentía característicos (PØc) se han deducido tras un minucioso análisis de la permeabilidad primaria y secundaria del suelo de cobertera (apartado XXIV.2.3); lo que no significa que no exista algo de holgura para modificar, en ambos sentidos, dicho valor. De hecho, el seguimiento continuado de las escorrentías en los cauces de la isla ha dado lugar a la rectificación –porcentualmente baja– del valor del PØc deducido empíricamente[31].

El elemento, por excelencia, de calibración de la escorrentía, al menos en esta isla, es el **umbral de infiltración en o sobre cauces** (IØc). En el bloque precedente, donde se hace un repaso al «*aprovechamiento de las aguas de escorrentía superficial*» en la isla, en varios capítulos se contrastan las expectativas de aprovechamiento que se deducían de los estudios hidrológicos previos con el aprovechamiento real, una vez que la obra de explotación se materializaba. En varios de ellos hemos resaltado nuestros aciertos en las estimaciones de las escorrentía que podrían generarse en los suelos de cobertera de la cuenca a explotar; sin embargo, en alguno lamentábamos el fracaso en las expectativas debido a que las aportaciones de escorrentías, correctamente evaluadas, una vez que alcanzaban los cauces, desaparecían bajo el lecho en su recorrido hacia el mar.

XXXI.1.3. Herramienta de calibración

La operación de calibración consiste en ajustar el valor o los valores de determinados parámetros que caracterizan una celda de forma que se reproduzca el efecto deseado en el elemento a calibrar en dicha celda.

[31] Una de esas rectificaciones tuvo lugar en la cuenca del bco. de Tabares (apartado XXIV.3.3)



Parámetros de modelización

P0 (mm): 270.00 **I0 (mm):** 27.00 **KE:** 0.49 **KT:** 0.91 **RX (mm):** 78.00 **CD (m³/s):** 1 000.00 **CA (1000xm³):** 0.00 **C VEG:** 0.50

Parámetros climáticos

Precipitación mensual (mm): 141.49 **Número de días de lluvia:** 3 **Evapotranspiración potencial (mm):** 34.99
Núm días que la humedad supera el umbral: 11 **Núm días que la lluvia supera el umbral:** 2 **Velocidad del viento (km/h):** 7.36

Aguaceros

Orden	Precipitación (mm)	Umbral escorrentía (mm)	Escorrentía propia (mm)	Escorrentía circulante (mm)	Umbral infiltración (mm)	Infiltración cauces (mm)	Q máx derivado (m³/s)
1	113.19	270.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00
2	25.47	190.92	0.00	0.00	21.43	0.00	0.00
3	2.83	155.88	0.00	0.00	18.72	0.00	0.00
Total	**141.49**		**0.00**	**0.00**		**0.00**	

Escorrentía e infiltración en cauces (valores en mm)

Flujo de entrada a celda: 0.00 **Flujo de salida de celda:** 0.00 **Infiltración en cauces:** 0.00

Precipitación convencional y lluvia horizontal (valores en mm)

Precipitación convencional: 141.49 **Lluvia horizontal:** 34.51

Evapotranspiración y precipitación eficaz (valores en mm)

Evapotranspiración potencial: 34.99 **Evaporación:** 3.05 **Transpiración:** 22.35 **Evapotranspiración potencial corregida:** 25.40
Reserva inicial de agua: 0.00 **Reserva final:** 78.00 **Evapotranspiración real:** 25.40 **Precipitación eficaz:** 72.61

Gestión de embalses de derivación

Derivado a embalses en el mes (mm): 0.00 **Volumen embalsado desde el inicio del año hidrológico (1000xm³):** 0.00

Figura 215. Panel e informe de calibración parámetrica en celdas (GMC del MHSup)

EL Gestor de Modelos Climáticos del MHSup dispone de una utilidad que permite efectuar análisis paramétricos en cada celda de la malla reticular que cubre la isla

Una vez seleccionada una determinada opción y modificado algún o algunos valores de caracterización hidrológica de la celda a calibrar, se genera un Informe de calibración compuesto por un conjunto de páginas, una por cada uno de los meses comprendidos en la opción seleccionada. Cada página mensual incluye in-

formación relativa a la distribución de los aguaceros considerados en el mes de que se trate, así como la escorrentía e infiltración en cauces a que han dado lugar; además se ofrece para su consulta: la evapotranspiración potencial en el mes, la evapotranspiración de cálculo en el BAS –descompuesta en sus dos componentes de evaporación y transpiración–, la reserva de agua en el suelo a comienzo y final de mes, los flujos de entrada y de salida de la celda, la infiltración efectiva, ...

XXXI.2. CALIBRACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

XXXI.2.1. Controles de referencia para la calibración de la Escorrentía

En Tenerife no se dispone de estaciones para el aforo de los caudales que circulan por sus barrancos. No obstante, para realizar las operaciones de calibrado del MHSup se dispone otras fuentes de información suficientemente eficaces:

Los archivos de control de la red hidrográfica del CIATF

Con los sucesos de temporales de lluvia, en el CIATF se sigue un determinado protocolo de actuaciones en el que, en los primeros momentos, los «vigilantes de obras y cauces» son protagonistas principales. En sus visitas a los cauces de la isla informan de inmediato de las incidencias detectadas, remitiendo al mismo tiempo, si es preciso, imágenes que las corroboren.

Las primeras operaciones de calibración del MHSup se apoyaron en los datos de caudales de agua de escorrentía, medidos a estima en más de un lugar en un mismo barranco y en más de una ocasión el mismo día.

En la isla no existen corrientes continuas de agua; las escorrentías permanecen en el cauce apenas unas horas después del aguacero, salvo algún barranco que dispone de escorrentía de ribera. Últimamente, en las visitas de campo del personal del CIATF no se suele anotar el caudal de avenida, pero nunca falta la imagen del agua circulando por el cauce para, al menos, hacer su estima. A los efectos de calibración ya es un «dato» relevante conocer si el barranco ha «corrido» o no. En los archivos del CIATF el testimonio gráfico de cada temporal de lluvia que visita la isla se almacena en carpetas y subcarpetas alusivas, de mayor a menor, a el temporal, los días de control, la zona visitada y los barrancos inspeccionados. Con tan ingente cantidad de información acopiada, la calibración puede realizarse «barranco por barranco», como de hecho se ha venido haciendo hasta la fecha.

Las campañas de campo para la «caracterización» de cauces

En más de un apartado, del bloque II o del que nos ocupa, nos hemos extendido, en el texto y en la información gráfica, aludiendo a las visitas realizadas a los barrancos de la isla, a principio de los años noventa, con el objeto de obtener información que nos permitiera, entre otros, aproximar los valores de los umbrales de escorrentía y, principalmente, de los de infiltración en cauces.



Figura 216. Escorrentía del temporal del 2 y 3 de febrero de 1996 entrando a la presa de El Río.

El día 2 y la madrugada del día 3 llovió intensamente. La instantánea es del día 3 a las 15,30 horas; se corresponde pues con la cola del hidrograma. A la presa entraba un Q de unas 600 pp/h ≡ 100 L/s.

Los días de tormenta era obligado salir a ver «correr» los barrancos, en general, y a hacer las mediciones precisas, en particular, en los cauces de las cuencas que habíamos seleccionado como «pilotos». Tales mediciones complementaron a aquellos primeros registros de caudales que aportaban los «vigilantes de obras y cauces» e incluso los técnicos del CIATF para la calibración inicial del MHSup.

Los datos de explotación de las balsas de BALTEN

La entidad Balsas de Tenerife (BALTEN) aporta regularmente las entradas de agua superficial a las balsas que gestiona desde hace más de dos décadas.

En este caso, la información es polivalente pues además de constatarse que el barranco o los barrancos han «corrido» se dispone de caudales «derivados» desde el o los tomaderos y de volúmenes «embalsados».

XXXI.3. CONTROLES INDIRECTOS DE LA INFILTRACIÓN

XXXI.3.1. Cuencas hidrográficas de observación

La infiltración del agua de lluvia si bien no es susceptible de calibración directa, sí puede controlarse en el MHSup contrastándola con las extracciones de agua subterránea que se producen en determinadas cuencas hidrográficas de la isla, de diferentes dimensiones y características. Cuencas que alimentan, con las aguas de lluvia que reciben, acuíferos como el de Tigaiga en el Valle de La Orotava, el de Aguirre en Anaga o el de Los Rodeos en el municipio de La Laguna; acuíferos éstos de los que proceden las mentadas extracciones.

No obstante, es en el acuífero que subyace bajo la extensa caldera de Las Cañadas del Teide donde se hace el seguimiento más continuo a la Recarga.

XXXI.3.2. Las cuencas endorréicas de Las Cañadas del Teide

Gran parte de la extensa superficie del denominado circo de Las Cañadas la ocupan varias cuencas endorréicas (*entre ellas las 7 Cañadas*). En todas ellas la escorrentía es interna y acaba concentrada en un receptáculo, a modo de laguna, al que hemos distinguido con el nombre de «sumidero».

XXXI.3.2.1. La Recarga del acuífero de Las Cañadas

El agua de lluvia que reciben estas «lagunetas» se reparte entre la Evapotranspiración y la Recarga al acuífero ya que la capacidad de retención de los suelos (en su mayoría depósitos de lavas recientes) es muy baja. En gran parte del recinto de Las Cañadas puede establecerse que: **I** = PT – ETR = **PC + PAN – ETR**

Quiere ello decir que el grado de certeza de la cifra que se deduce en el MHSup respecto del agua de Recarga que alimenta el gran «reservorio» depende de la fiabilidad de los obtenidos para la PC la PAN y la ETR.

Para la definición de la PC se cuenta con un aceptable número de estaciones, dentro y en el entorno del recinto; parte de ellas son oficiales (AEMET) y parte son gestionadas por el Patronato del Parque Nacional del Teide (PPNT). No obstante, los datos pluviométricos históricos pudieran estar ligeramente infravalorados (alrededor del 5%) debido a determinadas contingencias derivadas de la velocidad del viento –generalmente alta– y de las mediciones de las precipitaciones en forma de nieve; los registros de éstas se hacen en conjunto con la lluvia convencional en la mayoría de los pluviómetros.

La presencia de Lluvia Horizontal (PAN) por encima de los 2.000 metros de altitud es escasa debido a la casi ausencia de vegetación –principal elemento captador del agua de niebla– así como a la inhabitual visita de las nubes del régimen de alisios. A tales alturas son las nubes de inestabilidad atmosférica, al contactar con el propio suelo, las que dan lugar a este fenómeno. Creemos pues que el desvío en la evaluación de la PAN en el interior del recinto no debe ser significativo.

La ETR depende también de las comentadas PC y PAN, así como de la ETP. La evaluación de esta última se ha hecho a partir de la fórmula de Penman-Monteith usando los datos climáticos de las dos estaciones completas históricas: Parador e Izaña y las instaladas estos últimos años por el PPNT. No se ha hecho sino aplicar conceptualmente dicha fórmula.



Figura 217. Pequeña laguneta a los pies de un manto de lava y el Teide nevado

No obstante e independientemente de la posible existencia de pequeños errores en la medición de las variables climáticas, que incluso podrían compensarse unos con otros, el factor más determinante en la evaluación de ETR y por ende en la I (Recarga) reside en la resolución del BAS. En estas cuencas las «lagunas» que se crean después del suceso de las lluvias pueden permanecer durante varios días, e incluso semanas, hasta que la evapotranspiración (en este caso sólo la evaporación) y la infiltración acaban apropiándose de su contenido. Durante ese tiempo, nuevos aguaceros de lluvia o de nieve en la zona han podido incrementar el almacenamiento de agua, retardando su desaparición. El BAS es complejo de resolver en estos enclaves y al respecto hemos reiterado más de una vez la conveniencia de establecerlo a escala diaria; así se ha planteado en el MHSup y así se ha dejado expuesto en los apartados XXV.2 y XXVIII.1 de este bloque.

XXXI.3.2.2. Seguimiento de la Recarga en el recinto de Las Cañadas

De cualquier forma, nuestra confianza en el MHSup, cuando a partir de él se define cuantitativamente y territorialmente la Recarga de la lluvia que recibe este peculiar y extraordinario paraje de la isla, radica en la observación de los niveles del techo de la zona saturada que aporta en continuo el sondeo de la EAD de Montaña Majua (S-1), contrastados a su vez con los aportes de lluvia y de Recarga que se deducen del MHSup:

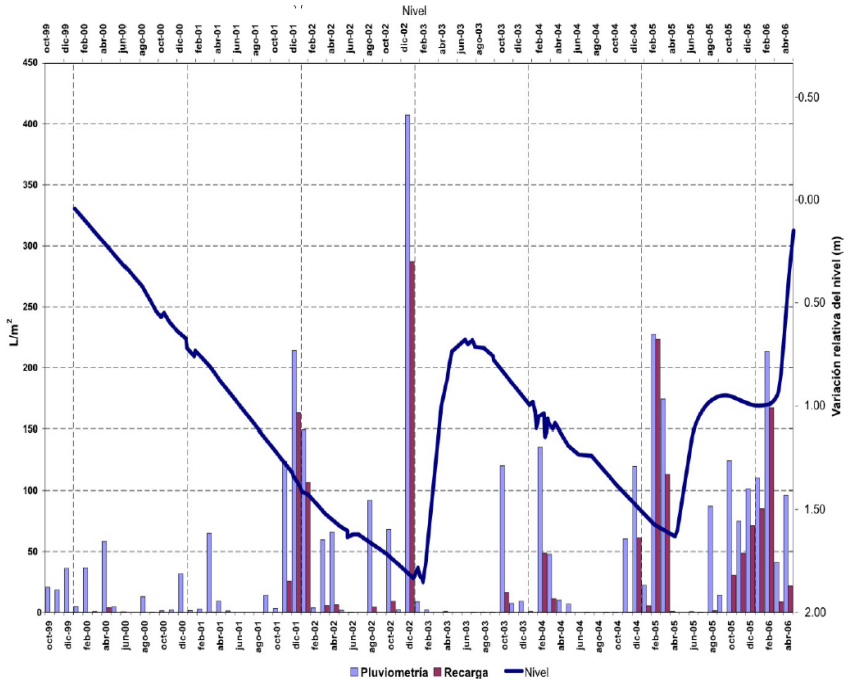


Figura 218. Contraste entre la pluviometría, la recarga y el nivel en el S-1 de la EAD (columnas violeta claro: pluviometría; columnas violeta oscuro: infiltración efectiva)

Después de períodos muy secos (años 2000 y 2001) o secos (años 2003 y 2004) los primeros temporales de importancia (11/2001 al 01/2002 y 12/2004 a 01/2005) que generan infiltraciones efectivas (295 L/m^2 y 70 L/m^2) prácticamente se diluyen en la zona de «tránsito», con lo que el agua que llega a la zona saturada no alcanza sino para **desacelerar** el ritmo de descenso del nivel (del 03 al 09/2002 y del 02 al 04/2005), apreciándose la reducción de la pendiente descendente a los **dos** o **tres** meses del evento.

El agua retenida temporalmente en esa zona de tránsito percola lentamente hacia la zona saturada; la curva de descenso mantiene la pendiente hasta el cese del goteo, momento en el que retoma la que le viene inducida por el descenso de nivel que provoca la explotación del acuífero. Sucede que:

- Si un temporal tiene lugar con la zona de tránsito prácticamente «abastecida» (12/2002), la respuesta sobre el nivel freático es directa: al cabo de **dos** meses el nivel comienza a **ascender**, situación que se mantiene por espacio de tres meses.

Ahora bien, es preciso aclarar que los primeros aportes que recibe la zona saturada no se deben a la lluvia del temporal en cuestión; proceden del agua que quedó colgada en la zona de tránsito con el anterior, la cual por **efecto émbolo**

precipita sobre la superficie freática. Los últimos aportes quedan retenidos, precisamente, en los huecos que aquella ocupaba en la franja de tránsito, donde permanecerán, bien hasta que las aguas infiltradas de un nuevo temporal las desplacen, o bien hasta que desciendan por gravedad si el suceso de aquel se retrasa; es decir:

- Cuando a un temporal le sucede un período de escasa lluvia, como lo fue el del año 2003, el nivel vuelve a recuperar la tendencia descendente de los primeros años.

XXXI.3.2.3. Conclusiones

La evolución del nivel freático en el sondeo está directamente relacionada con la incidencia de la recarga de lluvia en la zona. Del análisis conjunto de ambas familias de datos, recarga y nivel, se deduce que la efectividad de la recarga en la evolución del nivel depende del estado de semisaturación de la zona de tránsito y de la distribución e intensidad de las lluvias[32].

La congruencia de tales razonamientos nos dan la certeza de que los «ordenes de magnitud» que se deducen en al MHSup deben estar cercanos a los valores reales que alcanzan las variables hidrológicas en el recinto de Las Cañadas.

No obstante es de advertir que, dada la complejidad de nuestro acuífero insular, tales conclusiones no son extrapolables, tal cual, a otras zonas de la isla donde la configuración geoestructural es diferente.

XXXI.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Al crear un modelo en el Gestor de Modelos Climáticos se puede variar el coeficiente de participación de todas las series pluviométricas intervinientes en el modelo haciendo uso de una lista desplegable que, además de incluir el valor 1,00, incluye los valores 0,75; 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; 1,05; 1,10; 1,15; 1,20 y 1,25. Los valores mensuales de cada una de las series meteorológicas de precipitación intervendrán, en cada una de las celdas de la isla, multiplicadas por el coeficiente seleccionado a través de la mencionada lista desplegable.

[32] Evolución cuantitativa del sistema acuífero de Tenerife – Isabel Farrugia, Juan José .Braojos y J.osé Domingo Fernández -

B L O Q U E 6º

EL CAMBIO CLIMÁTICO

EN

TENERIFE

CAPÍTULO XXXII
EL CAMBIO CLIMÁTICO

XXXII.1. INTRODUCCIÓN

En más de un informe se ha puesto de manifiesto la vulnerabilidad del Archipiélago Canario frente al Cambio Climático. Destacamos los que constan en:

- El proyecto ECCE (Efectos del Cambio Climático en España) donde se hace un análisis general para todo el territorio español
- Las Jornadas sobre Impactos del Cambio Climático en la Hidrología de las Islas Canarias llevadas a cabo en diciembre del año 2005 en Tenerife a instancias del CIATF

En ambos, en la escala que les corresponde, se informa acerca de las predicciones de los posibles impactos derivados del Cambio Climático, haciendo no sólo distinciones territoriales sino sectoriales en general. Entre estos últimos se incluyen, lógicamente, los recursos naturales y dentro de éstos el análisis al respecto de los Recursos Hídricos. En general, se prevé una disminución de los recursos, sobre todo en las aguas de escorrentía superficial.

El origen volcánico de las islas confiere a sus suelos de cobertera unas características poco apropiadas para el aprovechamiento de las aguas de escorrentía superficial, sobre todo en Tenerife; en esta isla apenas tienen representación en la oferta hídrica, siendo las aguas subterráneas las que proporcionan la mayor parte del agua de consumo. Aguas subterráneas que son extraídas de un multiacuífero general cuyo aporte fundamental es la **recarga** de la lluvia, tanto directa o convencional (PC) como indirecta u horizontal (PAN), que también se verá afectada por las consecuencias del Cambio Climático.

De momento, ya viene observándose que el sistema hidrológico e hidráulico viene cambiando bajo diferentes aspectos no inherentes al Cambio Climático:

Cuantitativo: La explotación a la que está sometido el acuífero no permite siquiera mantener el caudal conjunto extraído.

Cualitativo: Se viene constatando el empeoramiento de la calidad de las aguas subterráneas.

Económico: Aumento considerable de los costes de explotación

Social: La sociedad plantea un nuevo modelo de gestión público-privado

Normativo: La implantación de la Directiva Marco del Agua (DMA) induce al logro de objetivos de difícil consecución

Pues bien, en el futuro dos circunstancias van a tener una influencia decisiva en la evolución de dicho sistema:

1. **El Cambio Climático.** La infiltración o recarga natural de los acuíferos es el elemento del balance hídrico más afectado con el aumento de las temperaturas, pero sobre todo si se confirma también el descenso de las precipitaciones.
2. **La inercia del sistema acuífero.** Aunque se reduzcan las extracciones de agua subterránea, seguirá bajando el nivel freático dada la baja difusividad de los acuíferos.

Es previsible pues un escenario climático en la isla con consecuencias negativas para los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos.

XXXII.2. CONCEPTOS

EFECTO INVERNADERO = *Fenómeno natural originado por varios gases presentes en la atmósfera que condicionan la temperatura de la Tierra y sin los cuales ésta sería aproximadamente 21 ºC menor, lo que la haría inhabitable*

GASES EFECTO INVERNADERO (GEI) = El Protocolo de Kioto consideró como principales los seis siguientes: Dióxido de carbono (CO2), metano (CH4), óxido nitroso (N2O), hexafluoruro de azufre (SF6), compuestos perfluorinados (PFC) e hidrocarburos (HFC).

Las **medidas de GEI** (2009) de la "*US National Oceanic and Atmospheric Administration"* indican una ***concentración global media*** *equivalente de CO2* en la atmósfera de *387 ppm*, un *40 % más* que en *1850 (revolución industrial)*.

Aunque se sigue cuestionando que el cambio climático obedezca a ***causas antrópicas determinantes*** y que no se deba a otras naturales de ciclos centenarios, el criterio general y el oficial (IPPC; desde 1988, OMM y ONU) es cada vez más concluyente: *los GEI contribuyen de forma muy relevante al calentamiento global y es exigible una posición activa en la reducción generalizada de sus emisiones.*

XXXII.3. INDICADORES

XXXII.3.1. El aumento de la temperatura

Los gases como el metano (CH_4), el dióxido de carbono (CO_2) o los óxidos de nitrógeno (NOx), tienen la facultad de interceptar la radiación infrarroja que se emite desde la Tierra contribuyendo a calentar la atmósfera; de hecho, no sería posible la vida en la tierra sin el Efecto Invernadero. Sucede que los incrementos de estos gases están acentuando el fenómeno, haciendo crecer la temperatura global.

Canarias cuenta con dos estaciones pertenecientes a una red mundial, conocida por GICOS (Global Climate Observation System), que engloba redes de observación en superficie, climáticas, redes de observación en aire, redes de observación de la atmósfera, … Una de ellas es la de Izaña en Tenerife - de observación atmosférica - con datos desde 1912; la otra se ubica en el aeropuerto de Lanzarote.

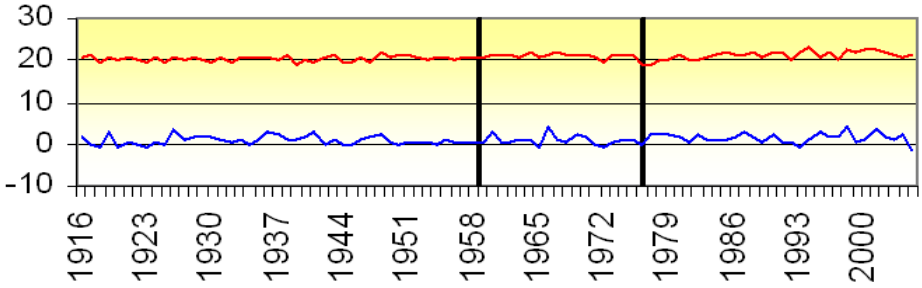


Figura 219. Temperaturas máximas y mínimas en la estación de Izaña.
(Fuente: AEMET Delegación Territorial de Tenerife. 2002)

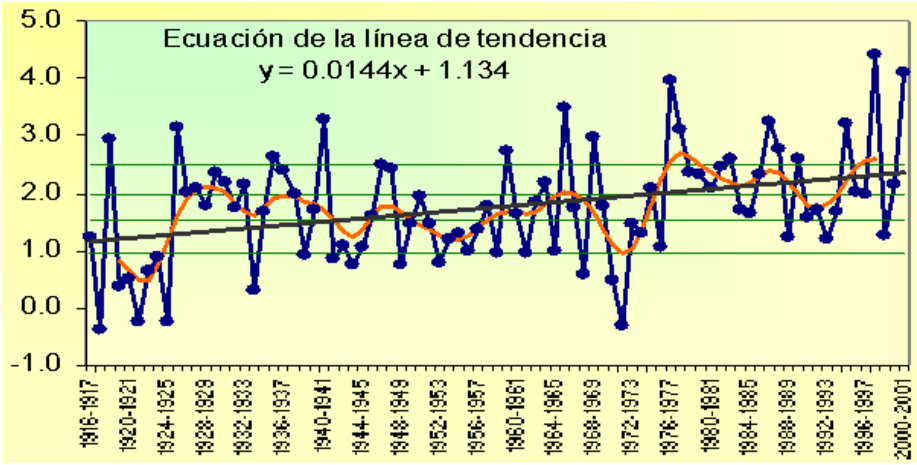


Figura 220. Temperaturas medias mínimas de los meses de invierno en Izaña.
(Fuente: AEMET. Delegación Territorial de Tenerife. 2002)

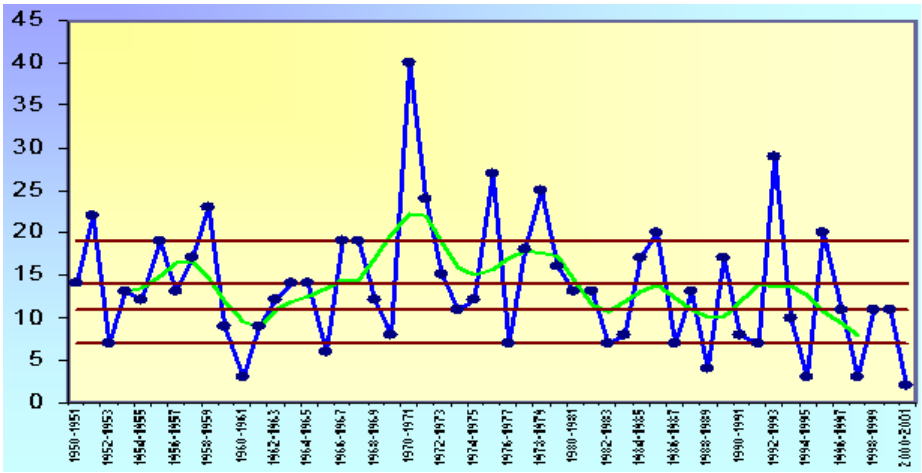


Figura 221. Número de días de nieve en el entorno de las Cañadas del Teide.
(Fuente: AEMET. Delegación Territorial de Tenerife. 2002)

Los dos primeros gráficos evidencian una tendencia al alza de la temperatura en la estación de Izaña; sobre todo, a partir de la década de los años ochenta.

Por otro lado, parece lógico asociar al aumento de las temperaturas la tendencia a la baja del número de días de nieve al año que se viene observando en las islas de mayor relieve a lo largo de las últimas décadas, tal como se observa en la gráfica precedente.

Además de las referencias citadas existen análisis estadísticos en otras islas del Archipiélago que confirman las tendencias a la alza de las temperaturas.

XXXII.3.2. Variación del régimen de precipitaciones

Así como con la temperatura se está de acuerdo en que existe una tendencia alcista, con las precipitaciones no existe consenso. De hecho, hay regiones donde los análisis estadísticos deducen descensos mientras que en otras es al contrario. No parece pues que haya una tendencia general muy definida acerca de la precipitación a escala global aunque, como en casi todo, siempre existen excepciones.

En Canarias algunos análisis realizados confirman la tendencia a la baja comentada en el apartado anterior; sin embargo otros no lo deducen claramente.

Del estudio realizado por la AEMET acerca de los coeficientes de variación móviles en la serie de registros de precipitaciones en Izaña (cv10; cv20 y cv30) no parece deducirse que haya tendencia alguna, ni hacia el aumento, ni hacia la disminución de las precipitaciones.

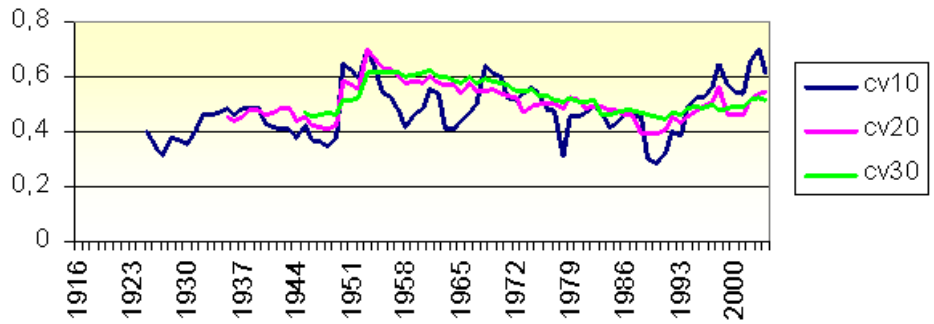


Figura 222. Coeficientes de variación móviles en la precipitación registrada en Izaña (Fuente: AEMET. Delegación Territorial de Tenerife. 2002)

De cualquier forma, dada la particularidad del emplazamiento de esta estación la información relativa a las precipitaciones no parece que deba extrapolarse, no sólo al conjunto del Archipiélago, sino a Tenerife.

XXXII.4. ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE EL MHSUP

XXXII.4.1. Introducción

En Tenerife, las aguas subterráneas mantienen su hegemonía, no sólo frente a las superficiales sino ante los denominados recursos no convencionales (agua de mar desalada y agua residual regenerada). Ahora bien, la explotación del multiacuífero insular durante ya casi 100 años tuvo su momento álgido en los años sesenta del siglo pasado cuando las galerías extraían más de 6.000 L/s de agua subterránea; desde entonces la extracción ha descendido paulatinamente hasta los 2.800 L/s actuales; descenso provocado en gran medida por el abatimiento de la superficie freática.

Aunque desde hace años ha bajado la intensidad de explotación del acuífero, los niveles saturados siguen descendiendo; descenso que se va a acentuar debido tanto al aumento de las temperaturas como a la posible disminución de las precipitaciones ya que ambos factores, el primero indirectamente aumentando la evapotranspiración y el segundo directamente, darán lugar al descenso del agua de Recarga. ¿En qué medida?. Del MHSup pueden extraerse conclusiones concretas de cualquiera de las variables climáticas e hidrológicas.

XXXII.4.2. Las variables climáticas

Con la última actualización el MHSup, realizada con motivo de la Revisión del PHT, se ha estimado la tendencia del clima en la isla a partir del análisis de los parámetros precipitación y temperatura durante los períodos correspondientes a la serie histórica (1944/45-2014/15) y al de los últimos 30 años (1985/86-2014/15) como representativo del estado de «situación actual».

XXXII.4.2.1. La lluvia convencional

- La media anual de la serie de **71 años** arroja un descenso de **-2,1 mm/año**.
- En los **30 años últimos** viene experimentando un ascenso de.**+ 0.4 mm/año**.

DIAGNÓSTICO:

1. La evolución general a la baja de **-2,**1 mm/año (equivalentes a – 4,3 hm^3/año) que ha venido experimentando la pluviometría media insular ha llevado a rebajar a ésta a un valor de 377 mm. Los datos de los últimos años parecen denunciar la estabilización de dicha media.
2. Los episodios lluviosos de los últimos años se han caracterizado por su poca duración temporal – dos o tres día a lo sumo – y por ser, en general, muy intensos.

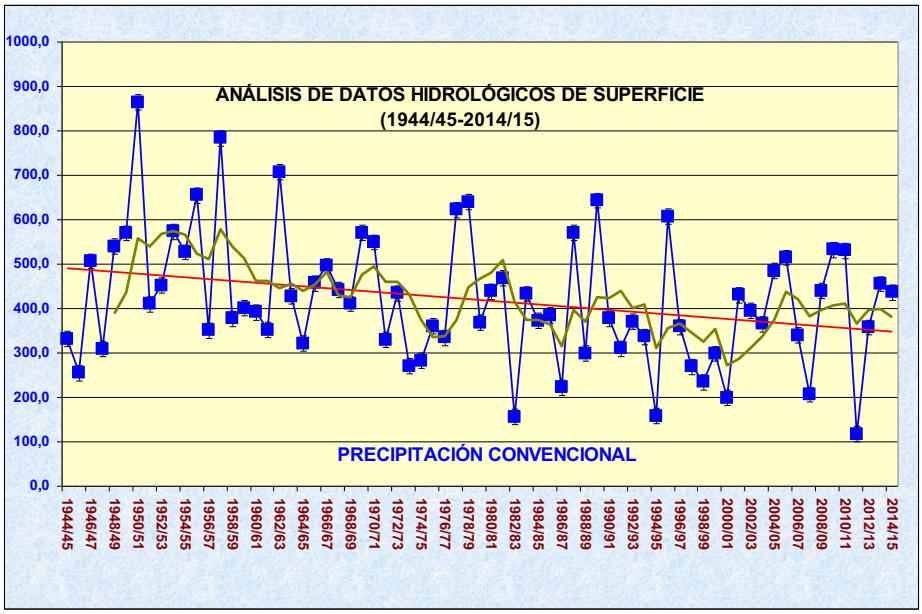


Figura 223: Análisis tendencial de la Precipitación Convencional.

XXXII.4.2.2. La lluvia horizontal

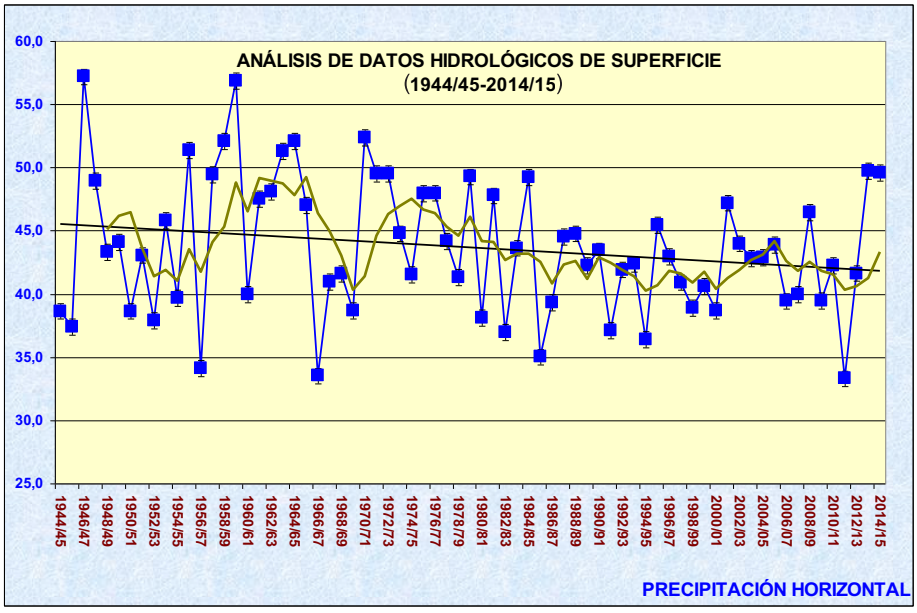


Figura 224. Análisis tendencial de la Precipitación Horizontal.

Dada la imposibilidad material de medición de este recurso su evaluación se ha llevado a cabo a partir de un submodelo implementado dentro del MHSup. Las principales variables climáticas que participan en su deducción (humedad relativa y velocidad del viento) apenas cuentan con un pequeño grupo de estaciones con registros históricos de más de sesenta años de extensión; no es sino a partir de los años ochenta cuando se densifican sus respectivas redes de control.

Bajo la consideración pues de las series de estas últimas décadas, relativas a las citadas variables climáticas, viene descendiendo a razón de **-0,05**mm/año.

DIAGNÓSTICO:

Sin tener en cuenta el previsible crecimiento de la vegetación – el pinar u otra especie de repoblación – durante los próximos años, la captación de agua de niebla seguirá descendiendo ligeramente.

XXXII.4.2.3. La temperatura

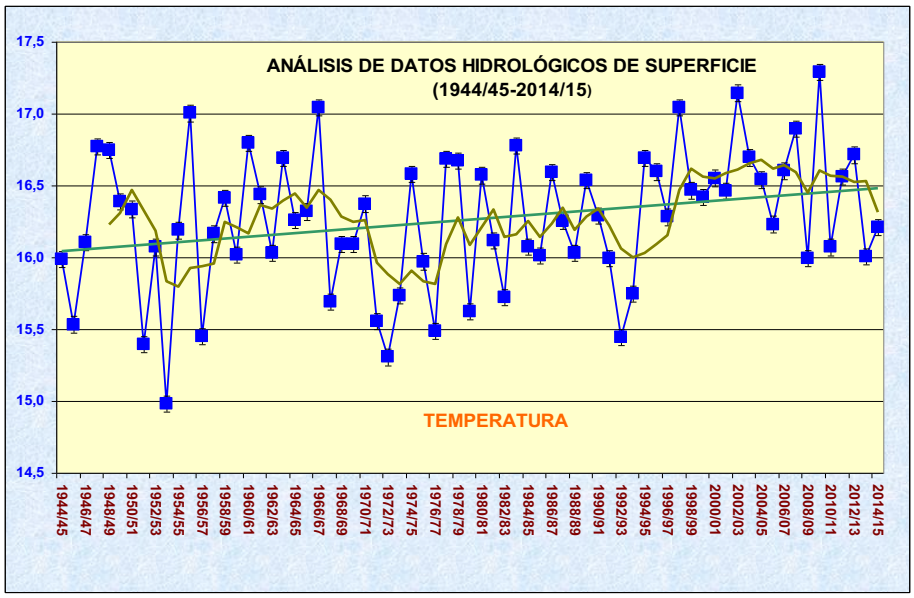


Figura 225. Análisis tendencial de la Temperatura media insular. (media lineal y media móvil)

- Con los 71 años se deduce una tendencia ascendente de: +0,01ºC/año.
- En los últimos 30 años la tendencia es similar: +0,01ºC/año.

El año hidrológico (2014/2015) de la serie analizada (1944/45-2014/15) registra la temperatura media más alta (17,3ºC) de todo el período.

DIAGNÓSTICO:

La temperatura media insular ha venido subiendo a razón de +**0,01**ºC/año; parece que todavía mantendrá dicha tendencia.

XXXII.4.3.1. La Evapotranspiración Potencial (ETP)

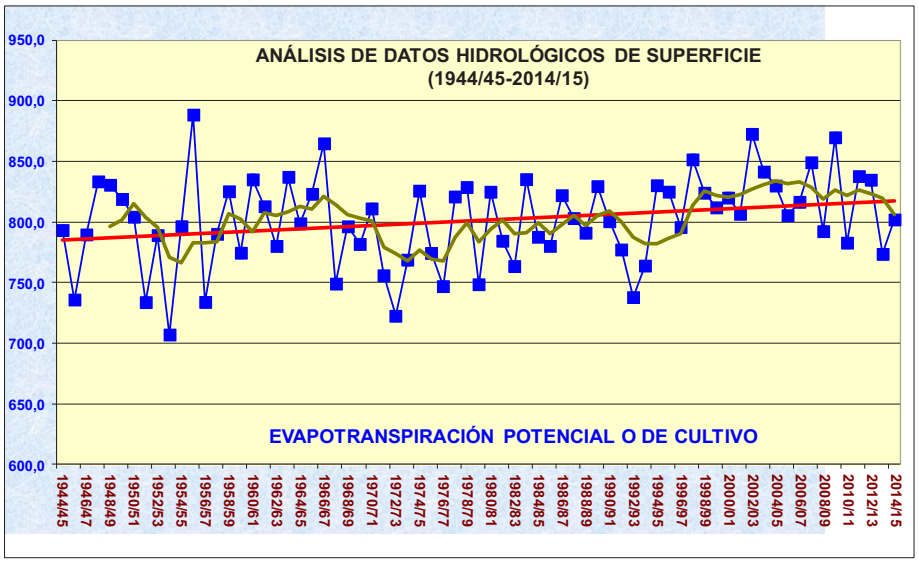


Figura 226. Análisis tendencial de la Evapotranspiración Potencial.

El ascenso de la temperatura ha provocado el incremento de la **ET_c** o **ETP:**

- En los 71 años del período se ha incrementado a razón de: + **0,4** mm/año.
- El análisis de los últimos 30 años cifra el aumento en + 0,8 mm/año.

DIAGNÓSTICO:

La ETP media seguirá subiendo mientras lo siga haciendo la temperatura

XXXII.4.3.2 La Evapotranspiración Real

- En los últimos 71 años la ETR acusa un descenso de: **- 0,5** mm/año
- Sin embargo, durante 1985/86-2014/15 cambia de signo: +**0,5** mm/año.

A los efectos del cálculo de la **evapotranspiración real** cabe comentar que al déficit pluviométrico observado se contrapone el incremento que ha experimentado la evapotranspiración potencial como consecuencia del ascenso de las temperaturas.

DIAGNÓSTICO:

Si la temperatura sigue incrementándose la Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real seguirán experiementando las tendencias alcistas que se deducen del análisis de los últimos 30 años.

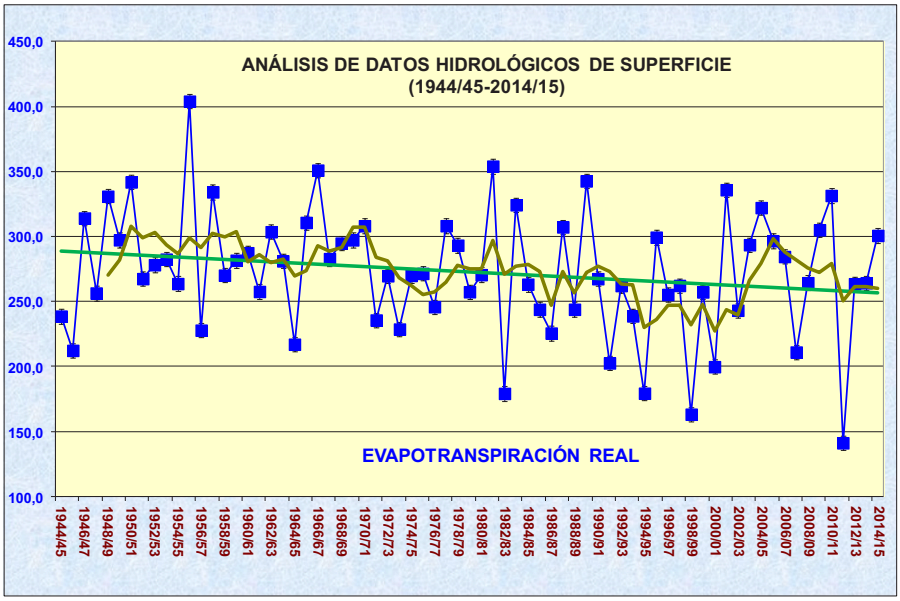


Figura 227. Análisis tendencial de la Evapotranspiración Real (1944/45-2014/15).

XXXII.4.3.3 La Infiltración Efectiva o Recarga

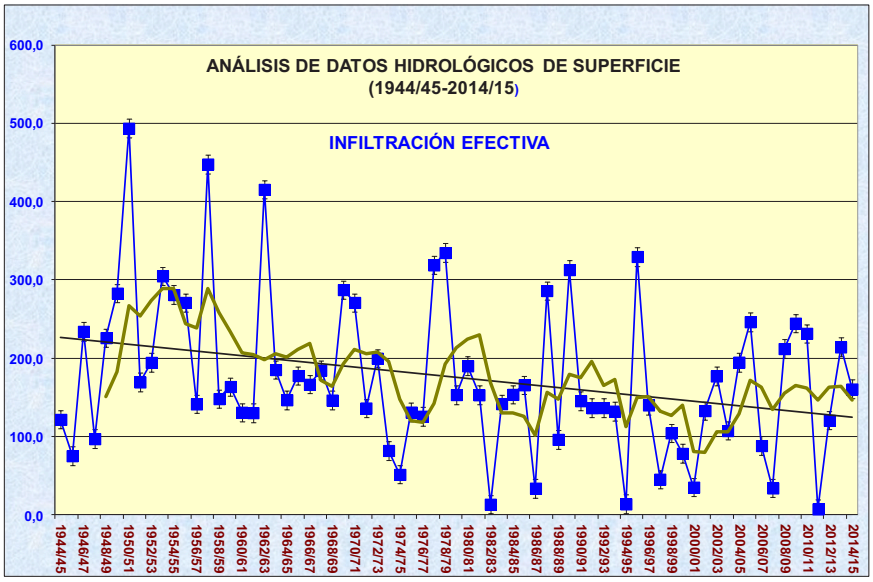


Figura 228. Análisis tendencial de la Infiltración Efectiva o Recarga.

La **Recarga** ha sido la más afectada por los cambios en la climatología insular. Alrededor del 75% del descenso medio anual experimentado por la precipitación ha repercutido en la infiltración efectiva.

- La serie del período 1944/45-2014/15 arroja un descenso de: - 1,4 mm/año .
- Durante los **30 años últimos** la tendencia ha sido …….: + 0.1 **mm/año.**

DIAGNÓSTICO:

Hasta inicio de los años noventa el multiacuífero insular vio mermadas sus entradas de agua de lluvia en unos 4 hm^3/año. El ligero incremento de la Precipitación en estas tres últimas décadas ha interrumpido la tendencia a la baja de la recarga habiéndose manteniendo una media constante durante todo ese tiempo.

XXXII.4.3.4 La Escorrentía Superficial

El Flujo al Mar más el agua Derivada a Embalses también ha disminuido:

- Los últimos 71 años arrojan una tendencia descendente:- **0,2**mm/año.
- Estudiado el período de los últimos 30 años la evolución ha sido + 0,02

DIAGNÓSTICO:

En términos absolutos, la escorrentía, que ha evolucionado a razón de – 0,2 mm/año (-0,4 hm3/año), ha sido el parámetro menos afectado por el descenso de los – 2,1 mm/año (-4,3 hm^3/año) de la pluviometría.

Se presume que los valores medios de las lluvias convencionales sigan estabilizados o con ligeras mermas conforme se alargue la serie «actual» de registros; por otro lado, se vienen observando con mayor frecuencia temporales muy localizados con lluvias intensas de corta duración, lo que favorece la formación de la escorrentía superficial; circunstancia ésta que corrobora el análisis tendencial de estos últimos 30 años. Es de esperar que los caudales de escorrentía superficial sigan manteniéndose en las mismas condiciones que las actuales.

XXXII.4.4. Los Caudales Máximos de Avenida

Los sucesos de lluvias intensas de corta duración que se presume van a estar presentes en el futuro dando lugar a hidrogramas con elevados caudales punta de escorrentía líquida, acompañados de grandes volúmenes de arrastres sólidos, que no parecen ajustarse a los establecidos y oficializados.

DIAGNÓSTICO:

Los eventos de carácter extraordinario podrían ser más habituales y localizados.

XXXII.4.5. Los Recursos Superficiales Terrestres

XXXII.4.5.1. Las Aguas Superficiales de Origen Subterráneo

La tendencia descendente de – 1,4 mm/año en la recarga observada estos últimos 71 años supone una disminución de unos 2,8 hm^3/año de entradas de agua de lluvia al sistema acuífero.

DIAGNÓSTICO:

Los caudales de agua que afloran desde los acuíferos directamente al exterior y circulan por los barrancos tienen que haber acusado una merma proporcional.

XXXII.4.5.2. Las Aguas de Escorrentía Superficial

DIAGNÓSTICO:

Se están observando fenómenos de lluvia cada vez más intensos por lo que, en adelante, pudiera ocurrir, no sólo el atenuamiento del descenso observado, sino incluso un cambio de signo o al menos su estabilización, pues para la generación de este recurso es más operativa la intensidad que la cantidad de precipitación, dada la gran permeabilidad de los suelos insulares.

XXXII.4.6. El Aprovechamiento de los Recursos Superficiales.

XXXII.4.6.1. Las Aguas Superficiales de Origen Subterráneo

El aprovechamiento de este tipo de recurso es aceptablemente eficaz y no requiere de ningún tipo de atención especial.

XXXIV.4.6.2. Las Aguas de Escorrentía Superficial

DIAGNÓSTICO:

Todavía cabe en la isla algún nuevo aprovechamiento de agua superficial; sobre todo de las que circulan por los cauces de cabecera de los barrancos del vértice sur de la isla.

XXXII.4.7. Conclusión general

Los análisis realizados, tanto desde la AEMET como desde el CIATF, confirman la tendencia alcista de la temperatura en la isla, a razón de 0,01º al año. En cuanto a la precipitación no está tan claro cual va ser la tendencia; más bien parece que tiende a conservarse cuantitativamente y que los cambios la afectarán más en la forma, siendo cada vez más frecuentes los sucesos de lluvias de carácter extraordinrio.

Con esta situación, los valores de la Evapotranspiarción, en sus dos componentes: Potencial y Real seguirán aumentado. La escorrentía incluso podría aumentar también dado el carácter torrencial de las riadas asociadas a los grandes temporales de lluvia. El reparto de la lluvia no va a ser equitativo pues el suelo edáfico retendrá el agua necesaria para suministrar la nueva demanda de las plantas limitando la fluencia del líquido elemento hacia los acuíferos hasta que no satisfacer sus reservas. Si la escorrentía aumenta lógicamente la infiltración se resentirá en la misma medida.

En resumen, tal como nos dicen las cifras deducidas del MHSup la Recarga del multiacuífero insular por agua de lluvia va a ser la más perjudicada por el Cambio Climático.

CAPÍTULO XXXIII
COMENTARIOS FINALES

XXXIII.1. EL MHSUP: HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN

Los modelos matemáticos son herramientas valiosas para la hidrología, de cuyos resultados o predicciones se vale la Planificación Hidráulica, en general. Ahora bien, la información que facilitan no está exenta de errores; se ha llegado a afirmar que éstos pueden alcanzar incluso más de un 30%. Lógicamente, este porcentaje dependerá del grado de precisión con que se aborden determinados apartados del proceso operativo en dichos modelos. Desde el CIATF se ha tratado de que ese porcentaje sea el más bajo posible.

Al inicio, en el MHSup se discretizaba la isla en celdas de 1000m x 1000m; dimensiones éstas que obligaban a globalizar en cada celda los valores de los parámetros inherentes a varias subcuencas encerradas en ella. En la segunda versión, con celdas de **200**m x **200**m, se redujeron al mínimo las agregaciones.

Los valores de la capacidad de retención de los suelos en aquella primera versión se obtuvieron de la información aportada por **8** estaciones bioclimáticas repartidas por las islas[33]. A instancias del CIATF, desde el Departamento de Edafología y Geología de la ULL se elaboró la **cartografía edáfica** de Tenerife que tuvo como soporte las experiencias de campo realizadas en **180** estaciones de control, en las que además de la capacidad de retención se midió la tasa de infiltración básica de los distintos suelos de la isla.

El grado de precisión de las escalas de la cartografía geológica no permite detectar en los cauces aquellos accidentes geomorfológicos que afectan a la propagación del **flujo de las escorrentías**. La carencia se resolvió a pie de campo, reconociendo palmo a palmo cada cauce y cartografiando dichos «accidentes».

La evapotranspiración potencial (ETP) se ha estimado a partir de la de referencia (ETo) ajustándola mediante los **coeficientes de cultivo** (Kc). En la isla se han definido hasta 40 valores de Kc para otros tantos tipos de cultivo; por nuestra parte, con el consenso de expertos locales, el valor de Kc para la vegetación natural se ha definido para más de 140 variedades.

Nos consta que se están iniciando estudios acerca de la aportación de **lluvia horizontal** a la recarga de los acuíferos en algunas cuencas peninsulares. En Tenerife hace más de una década se consideró imprescindible su participación directa en los estudios o análisis relacionados con el ciclo hidrológico insular. Siendo su representación algo más del 10% respecto de la lluvia convencional, es la evapotranspiración el elemento que obtiene más

[33] MAPA DE LAS SERIES DE VEGETACION DE ESPAÑA - (MAPA) - 1987

beneficio directo de este recurso hídrico; no obstante, la Recarga, de forma directa en determinados casos pero sobre todo indirectamente, también se beneficia de él.

Como se ha dicho, con tales incorporaciones se ha pretendido reducir los porcentajes de error de los valores de las distintas variables hidrológicas que conforman el BHI deducidos del MHSup; entre ellas la Recarga, de especial interés dada su repercusión, indirecta, en la oferta hídrica de esta isla.

XXXIII.2. EL FUTURO DE LOS RECURSOS CONVENCIONALES

El MHSup no es sino una herramienta de la que se sirve el CIATF para averiguar, entre otros, el volumen de agua que alimenta al multiacuífero insular, al que se también se controla mediante otra herramienta semejante: el Modelo de Flujo Subterráneo (MFS). En los últimos treinta años se ha deducido que el volumen anual de agua que alimenta dicho multiacuífero alcanza un valor medio de **351** hm^3 que introducido en el MFS junto con los volúmenes de aguas subterráneas que le son extraídos (**150** hm^3/año) se deduce una descarga de agua subterránea al mar de aproximadamente **300** hm^3/año. Quiere ello decir que las SALIDAS superan netamente las ENTRADAS, por lo que necesariamente se están reduciendo las «reservas» y están cayendo los niveles saturados; descensos que tienen su reflejo en la disminución paulatina de los caudales alumbrados en las galerías. Cómo y en qué medida van a seguir produciéndose estos descensos son las incógnitas a resolver por la planificación hidrológica.

Al respecto, los cambios en el clima que se vienen constatando en el planeta y, desafortunadamente, también en estas islas van a ser decisivos y decisorios para el futuro hidráulico de ésta. El MHSup permite deducir tendencias de la evolución en el tiempo de cualquier variable hidrológica, entre ellas lógicamente, la Recarga cuyo valor anual medio, deducido en el MHSup, viene descendiendo desde hace décadas, respondiendo a los citados cambios del clima.

Apostamos por la aproximación a la realidad del valor de la Recarga que se deduce en el MHSup; no obstante, al futuro de los recursos hídricos convencionales le es indiferente cual sea ese valor en la actualidad; mucho más trascendentes son las consecuencias que le acarree a la citada Recarga y al sistema hidráulico, en general, el Cambio Climático, del que en esta isla la incuestionable estadística de los datos ya ha aportado suficientes señales de confirmación.

BLOQUE COMPLEMENTARIO

LA GESTIÓN Y EL CONTROL DE LA RED DE DRENAJE TERRITORIAL DE DE TENERIFE EN IMÁGENES

CAPÍTULO I
LA RED DE DRENAJE TERRITORIAL (RDT)

I.1. INTRODUCCIÓN

Por particulares y por las Administraciones –ambos bajo la tutela de la Administración Hidráulica– pero sobre todo por parte del CIATF, se han llevado a cabo numerosas actuaciones en el entorno de la Red de Drenaje Territorial; muchas de ellas materializadas en infraestructuras hidráulicas. Los informes relativos al control y seguimiento de dichas actuaciones se acompañaban del correspondiente reportaje gráfico. Las imágenes que ilustran los siguientes apartados –salvo alguna excepción– formaron parte en su día de alguno de esos reportajes; son pues el testimonio gráfico de la labor de «campo» que se realiza en el CIATF a través de sus técnicos y vigilantes de cauces y obras. Lógicamente se trata de una selección en la que se ha priorizado más el contenido que el continente, por lo que alguna de ellas se ha incluido a pesar de que carezca de la calidad deseada. Al final, el muestrario gráfico, acompañado siempre de «pies de imagen», ha ocupado más espacio que el texto escrito

I.2. DEFINICIÓN

En el Glosario del Plan Hidrológico de Tenerife (Anejo 14 de la Normativa) se ofrece la definición de Red de Drenaje Territorial (RDT); definición de la que hacemos el siguiente extracto esquematizado:

RED DE DRENAJE TERRITORIAL: Conjunto de infraestructuras a través de las cuales se recoge y conduce el drenaje del territorio. Dichas infraestructuras pueden ser:

- *naturales*
- *artificiales*
  - *los cauces o tramos de los mismos cuya sección natural se haya alterado mediante*
    - *canalización abierta,*
    - *cerrada*
    - *obra de fábrica*
  - *los cauces creados con el fin de derivar caudales de unos cauces*
    - *hacia otros cauces*
    - *hacia el mar*
- *las vías de desagüe territorial*
- *los canales interceptores perimetrales*
- *las redes de pluviales*

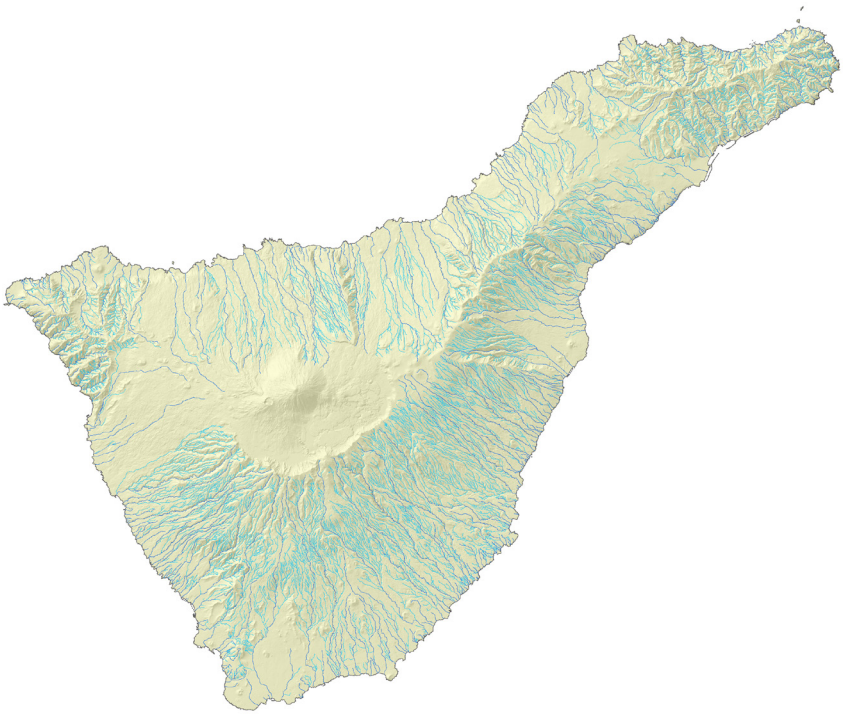


Figura 1. Red de Drenaje Territorial de la isla de Tenerife

I.3. LOS CAUCES

I.3.1. Definición

En el PHT se hace la siguiente definición de cauce, entendido éste en su estado «natural»:

CAUCE: Terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias de una corriente continua o discontinua, con independencia de que pueda ser calificado como cauce público o como cauce no catalogado como público

I.3.2. Jerarquización

CAUCES PRINCIPALES: Se consideran cauces principales o de primer orden hidrológico aquéllos incluidos en el Inventario Oficial de Cauces cuya desembocadura se produce en el mar, con independencia de su naturaleza

La columna vertebral de la red insular de drenaje natural la conforman pues los cauces **principales**. Sobre ellos descargan los cauces correspondientes a otros tantos ramales, subramales…, cuya estructura jerárquica alcanza hasta 10 niveles. En el último Inventario llevado a cabo desde el CIATF se han censado 498 cauces principales, con una longitud acumulada de 1831 km, a los que se unen casi 5.000 cauces afluentes, sumando entre todos una longitud total conjunta de 5.881 km.

Pueden hacerse las siguientes distinciones:

✓ En función de su titularidad:
- Cauces de titularidad pública
- Cauces no catalogados como públicos.

✓ En función de su naturaleza:
- Barrancos en estado natural
- Barrancos canalizados
- Desvíos entre cauces
- Vías de desagüe territorial

I.3.3. Las zonas adscritas a los cauces

Las definiciones de cada una de las zonas –resumidas a sus términos geométricos– han sido extraídas del Glosario del Plan Hidrológico de Tenerife (PHT), constando igualmente en la Normativa del Plan de Defensa frente a las Avenidas (PDA).

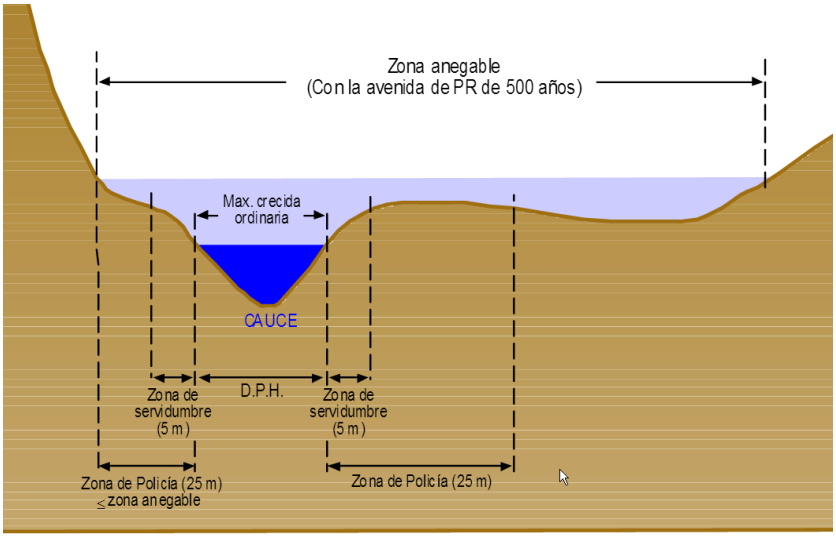


Figura 2. Zonificación según el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (DPH) de Canarias

Cauce: *Terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias de una corriente continua o discontinua,….*

Máxima crecida ordinaria*: Aquella de tan probable o frecuente ocurrencia estimada como para que los terrenos por ella inundados resulten inaprovechables como consecuencia del riesgo que para personas y bienes representa su anegamiento…*

Dominio Público Hidráulico*: Está constituido por aquella parte de los cauces públicos de escorrentía continua o discontinua que ocupan las máximas crecidas ordinarias,….*

***Zona de servidumbre**: Banda doble de cinco (5) metros de anchura contados a partir y hacia el exterior de las líneas que definen el borde exterior de la zona de dominio público hidráulico, a la que se sujetan los márgenes de un barranco en toda su extensión longitudinal….*

***Zona de policía**: Banda doble de veinticinco (25) metros de anchura, contados a partir y hacia el exterior de las líneas que definen el borde exterior de la zona de dominio público hidráulico, siempre que no se supere el borde de la zona anegable….*

***Zona anegable**: Porción del territorio susceptible de ser cubierta por las aguas de las avenidas con período estimado de retorno de T=500 años….*

***Zona susceptible de riesgo hidráulico**: Zona concreta del territorio en la que la concentración de riesgos o la existencia de bienes, infraestructuras o servicios más vulnerables frente a las avenidas han permitido la generalización del riesgo.*



Figura 3. Delimitación física de la zona de dominio público hidráulico (D.P.H.).

La roca «lavada» en la imagen de la izquierda y los cantos rodados entre la arena en la de la derecha son testimonios gráficos del espacio ocupado en el cauce por la *máxima crecida ordinaria*, equivalente a la zona de D.P.H. que le correspondería a dos tramos del barranco de Las Yedras en Arico.

Por otro lado, en el apartado 2 del artículo 32º de la Normativa del PHT así como en el apartado 2 del artículo 10 de la del PDA se define el concepto de:

Suelos de protección de barrancos: *las zonas anegables (incluyendo, en su caso, las zonas de servidumbre), las zonas de ribera y las laderas de barrancos, y se entienden como espacios que cumplen las siguientes funciones:*

a) Drenaje longitudinal y transversal de la escorrentía;

b) Zona de movilización de materiales para acarreo natural;

c) Corredor hidromorfológico y paisajístico;

d) Hábitat para especies naturales asociadas al régimen de escorrentía del cauce.

I.3.4. los cauces naturales

En el Glosario de Términos del PHT dentro del correspondiente a la RED DE DRENAJE TERRITORIAL (RDT) se señala que *los cauces naturales son aquellos cauces o tramos de los mismos que no han sufrido variación sustancial en su geometría original*. A continuación se alude a los *artificiales* como cauces consecuentes a las alteraciones generadas en aquellos por diversas actividades (*canalizaciones, desvíos*,…). Por tanto, es obvio que cuando en los primeros se cita como característica fundamental la inexistencia de *variación sustancial en su geometría original,* ésta concierne únicamente a la que deriva de la mano del hombre pues, evidentemente, los cauces a lo largo de su existencia sí han sufrido variaciones más que sustanciales; los «fenómenos naturales» son los responsables del actual relieve de la isla y en particular de los cauces que discurren por el fondo de profundos barrancos.

A lo largo de los siglos los barrancos han venido amoldando su orografía de acuerdo a un continuado proceso erosivo asociado a las corrientes de escorrentía generadas en su interior. Riadas como las acontecidas estas últimas décadas han debido de producirse con regularidad; no hace falta acudir a referencias históricas excesivamente lejanas para confirmarlo. Fenómenos naturales de erosión y/o sedimentación se han ido superponiendo y han ido conformando el perfil de cada barranco, sin que la mano del hombre haya tenido nada que ver en ello. Puede decirse pues que los barrancos en su proceso de construcción son autosuficientes para mantener e incluso mejorar sus condiciones hidráulicas. Así ha sido y lo seguirá siendo, siempre y cuando no se les modifiquen sus características naturales.

I.3.5. los cauces artificiales

Cuando se sustituye parte de la infraestructura natural de un barranco por elementos artificiales su comportamiento hidráulico cambia radicalmente. Con los encauzamientos se provocan estrechamientos, cambios de pendiente, variaciones de la rugosidad ... que lógicamente influyen en el discurrir de las avenidas; fenómenos de erosión asociados al nuevo régimen hidráulico e inducidos por la obra

en cuestión pueden dar lugar a la ruina de ésta; encauzamientos con pendientes excesivamente bajas, utilizados además en ocasiones como auténticas galerías de servicio se convierten en depósitos de sedimentación que pueden acabar con la capacidad de desagüe de la obra si no se llevan a cabo periódicas medidas de limpieza y mantenimiento. Éstas y otras singularidades han venido siendo soportadas por nuestra red hidrográfica en su zona más desprotegida: la antesala de su desembocadura en el mar.

En definitiva, cualquier actuación en las zonas adscritas a barranco o en el mismo cauce, puede dar lugar a dos tipos de afección que deben ser controladas:

1. **cambios en el sistema hidrológico** e incluso en el **hidrogeológico** insular, no siempre negativos.
2. **cambios estructurales** posteriores a la actuación si ésta ha consistido en una obra hidráulica incapaz; cambios que pueden suponer daños para la propia obra e incluso para las infraestructuras y bienes cercanos.

Además, determinadas actuaciones pueden derivar también consecuencias administrativas; sobre todo si aquellas afectan al dominio público hidráulico.

Ahora bien, la Administración Hidráulica –el CIATF actualmente– dentro de su función de control, vigilancia y mantenimiento de los cauces no está sistemáticamente en contra de tales actuaciones. Se entiende que las barreras que los barrancos suponen para el desarrollo de las áreas urbanas e industriales pueden salvarse con canalizaciones artificiales; pero siempre y cuando sean capaces de drenar los caudales de avenida establecidos en la normativa vigente y que el titular o interesado en la obra de encauzamiento se comprometa a conservarla en perfectas condiciones de mantenimiento y desagüe. Con estas condiciones se otorgan concesiones y autorizaciones a los particulares y a las entidades públicas que lo solicitan.

I.4. GESTIÓN, CONTROL Y VIGILANCIA DE LA RED DE DRENAJE TERRITORIAL

Dos de las varias funciones que la primitiva Ley de Aguas del Estado y la actual Ley de Aguas de Canarias (LAC) le otorgan a la Administración Hidráulica son:

la gestión y control del dominio público hidráulico

la policía de aguas y sus cauces

Tales funciones dan lugar, entre otras, a dos actuaciones administrativas principales, que se concretan en la apertura, entre otros, de dos tipos de expedientes:

1. Sancionadores por la ejecución de obras sin la preceptiva autorización en las zonas de ámbito de los cauces.
2. De autorización de obras en los cauces y zonas anexas en los términos señalados en la LAC y en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

Por otro lado, en la Normativa del Plan Hidrológico de Tenerife (PHT) –complementada por la del Plan de Defensa frente a Avenidas (PDA)– se establecen los *requerimientos específicos* aplicables en relación con la *Gestión del Drenaje Territorial* (Capítulo III). Al respecto, *los promotores que pretendan ejecutar obras en los cauces o en las zonas anexas a los mismos…, deberán presentar… los* ***estudios hidrológicos*** *empleados para su definición* (PHT: art. 150º - 1).

En dichos *estudios hidrológicos*, así como en los informes técnicos de la Administración, el caudal máximo de avenida que circularía por el tramo de barranco en cuestión, es un dato clave, cuya evaluación es previa a los cálculos hidráulicos (PHT: art. 150º - 2). Una vez confrontados los resultados –hidrológicos e hidráulicos– se hacen constar las posibles afecciones a la red de drenaje territorial así como las medidas correctoras que se proponen.

Ahora bien, las afecciones a la red de drenaje pueden ser también de origen natural, como consecuencia de fenómenos meteorológicos extremos que suelen extender sus efectos más allá de los límites de los cauces, ocasionando daños materiales e incluso pérdida de vidas humanas. Tales eventos dan lugar a informes y estudios hidrológicos más complejos que los relativos a las afecciones antropológicas.

En definitiva, la actividad de la Administración Hidráulica en relación con la RDT se concentra en *vigilar, controlar* y *gestionar* aquellas actividades que dan lugar a algún tipo de modificación hidrológica y/o hidráulica ya sea:

directamente:

- Actuaciones de la **mano del hombre**:
  - Las canalizaciones artificiales de cauces.
  - La construcción en el cauce y/o en zonas adscritas de elementos anejos a las canalizaciones.
  - El desplazamiento de la traza de los barrancos.
  - El desvío del curso de un barranco hacia otro cercano.
  - El aprovechamiento de las escorrentías líquidas mediante presas o tomaderos.
  - La extracción de áridos.
  - La ocupación del cauce y/o zonas adscritas con conductos, infraestructuras, cuartos,…
  - El uso de los cauces como vertedero.
- El suceso de eventos meteorológicos extremos como lo son:
  - Los grandes temporales de lluvia.
  - Los grandes temporales de viento.

de forma indirecta:

- Actuaciones de la mano del hombre:
  - El cambio de uso del suelo.
- El suceso de eventos naturales (no meteorológicos) catastróficos:
  - Los incendios forestales.
  - Las erupciones volcánicas (históricas).

A cada uno de los apéndices le dedicamos su correspondiente apartado descriptivo.

CAPÍTULO II
LAS CANALIZACIONES ARTIFICIALES DE CAUCES

II.1. INTRODUCCIÓN

II.1.1. Conceptos

Los barrancos no son simples accidentes del terreno sino auténticas «vías de desagüe» construidas por la naturaleza para cumplir la función de evacuación al mar de las aguas pluviales, dando continuidad al ciclo hidrológico. En cualquier tipo de actuación en su entorno debe priorizar, pues, la conservación de dicha función. Bajo esta premisa –no siempre respetada– la red de drenaje natural se ha visto afectada por actuaciones diversas, siendo la **canalización artificial** de sus cauces la más habitual de entre todas.

Para los «encauzamientos» se aporta la siguiente definición:

ENCAUZAMIENTO O CANALIZACIÓN DE UN CAUCE: Obra de fábrica infraestructura que estabiliza lateralmente un cauce garantizando la escorrentía de los caudales entre los cajeros que la componen. Como elementos esenciales consta de cajeros laterales, pudiendo la solera estar tratada o permanecer en estado natural.

Cuando el encauzamiento se encuentra dotado de techumbre o cierre superior de fábrica, se denomina encauzamiento o canalización cerrada o cubierta, y en caso contrario encauzamiento o canalización abierta.

Los conductos en tubería caben también dentro del concepto *encauzamiento o canalización cerrada o cubierta*; entendiendo que, en este caso, los *cajeros,* la *solera* y la *techumbre* son «todo uno».

Ahora bien, no todas las canalizaciones artificiales responden a estas definiciones. Son bastantes los casos en que el cauce discurre encajado entre cajeros que, precisamente, no se identifican con una *obra de fábrica infraestructura*, pues se corresponden con:

- ✓ las paredes de un **zanjón** excavado en el terreno o
- ✓ el **muro** o los **muros** de contención de bancales de cultivo, de edificaciones, de viales, …que ocupan parte de una o ambas márgenes

En este segundo caso, además, no siempre se prioriza *garantizar la escorrentía de los caudales* tal como se especifica en la norma.

Y aún existe una tercera variante que tampoco responde a un cauce «natural» o a un «encauzamiento» pues se trata de:

- ✓ tramos de cauce con el piso artificial e incluso elevado respecto de su rasante natural sobre los que se asienta, o bien un vial –los denominados coloquialmente **barrancaminos–,** o bien un **badén** de cruce.



Figura 4. Zanjón excavado en el terreno; muros de viviendas haciendo de hastial y badén

Asumiendo la existencia de tales variantes, los cauces de los barrancos que conforman la red de drenaje insular pueden adoptar en sus recorridos varios «estados» diferentes que, a nuestros efectos, distinguimos de la siguiente forma:

1. **natural:** sin más cambios morfológicos que los que le generan sus propias avenidas y los que se derivan de las extracciones de áridos, si las hubiere.
2. entre **muros**: cuando en una o en las dos márgenes del barranco se asientan infraestructuras no hidráulicas que colindan directamente con el cauce.
3. **encauzado**: mediante *obra de fábrica infraestructura* ejecutada en:
   - 2a. **canalización abierta**: cuando no *se encuentra dotada de techumbre o cierre superior de fábrica*.
   - 2b. **canalización cerrada o cubierta**: cuando *se encuentra dotada de techumbre o cierre superior de fábrica.* También serían parte de este grupo las **obras de drenaje transversal** en viales.
4. en **zanjón**: excavados sobre el terreno.
5. como **viario** con la solera tratada:
   - 5a. longitudinalmente para habilitarla como **vial,** compartiendo usos.
   - 5b. transversalmente para que actúe de **badén** en los cruces con viales.

Aunque es muy improbable que suceda, en un mismo barranco podrían existir los siete «estados» de cauce. En los tramos de cumbre es lógico que discurran en su estado natural; es a partir del lugar donde el hombre interviene, convirtiendo el cauce natural en artificial, cuando pueden aparecer los restantes.

Entre ellos, el que corresponde a «entre muros» debió ser de los primeros; con él iniciamos pues las descripciones.

II.2. CAUCES CANALIZADOS ENTRE «MUROS»

Disponer de la mayor superficie de terreno para cultivar llevó en tiempos pasados a dos situaciones límites en las zonas colindantes con barrancos:

1ª. Fue habitual construir la vivienda sobre la misma margen del barranco; hasta el punto de dejarla colgada sobre el cauce o incluso con alguno de sus muros ocupando el espacio de aquella, remplazándola en su cometido.



Figura 5. Viviendas «abalconadas» sobre el cauce con sus muros haciendo de márgenes (CIATF)

1ª. La otra alternativa fue ganarle el terreno directamente al propio barranco, levantando bancales de cultivo en una o en ambas márgenes.



Figura 6. Bancales de cultivo e instalaciones varias ocupando las márgenes del barranco (CIATF)

También el desarrollo urbano ha contribuido a la creación de márgenes artificiales:



Figura 7. Muros de contención de viales y de zonas ajardinadas en las márgenes (CIATF)

Lo normal es que el piso del cauce permanezca en su estado natural. No obstante, existen también cauces entre muros con la *solera tratada*.



Figura 8. Cauces discurriendo entre muros de viviendas con soleras artificiales (CIAF)

En cualquiera de las tres opciones el objetivo perseguido ha sido, por lo general, disponer de terreno para dar cabida a una determinada actividad, constriñendo el cauce al espacio entre muros cuando aquellos ocupan ambas márgenes.

II.2.1. Afecciones



Figura 9. Elementos afectados con el paso de las riadas (CIATF)

Los propios muros y los bienes y/o infraestructuras de los que se deslindan son realmente los más afectados

II.3. CAUCES CANALIZADOS

Las obras de encauzamiento responden a cuatro objetivos principales:

1. **Ocupar** su espacio para el establecimiento de viales, plazas, parques, …
2. **Desplazar** su traza por necesidades urbanísticas o medioambientales
3. **Desviar** su curso hasta otro por las razones citadas y/o de seguridad
4. **Dar continuidad** a un cauce interceptado por una vía de comunicación

Hacer compatibles las exigencias del desarrollo urbano-turístico con una red de drenaje natural tan densa como la insular conlleva necesariamente la ejecución de estas infraestructuras hidráulicas. Ahora bien, aunque en origen tales obras obedezcan a los cuatro objetivos señalados, también deben de ser consecuentes con el objetivo principal que está por encima de aquellos, y que no es otro que el evitar o, al menos, minimizar el denominado **riesgo hidráulico**, tal como se persigue con estos otros tres objetivos de carácter preventivo cuya consideración es ineludible cuando se acometen actuaciones de este tipo.

1. **Evitar** los desbordamientos y las consiguientes inundaciones



Figura 10. Encauzamiento del bco. de Chayofa bajo los viales de La Caleta de Güimar (URBEING) Tuvo por objeto evitar que las escorrentías los inundaran, como en diciembre de 2013

2. **Proteger** las márgenes de los barrancos frente a la erosión



Figura 11. Muro protector en la margen izquierda del bco. de Chirche en Guía de Isora (CIATF)

3. Estabilizar el trazado y la sección de los cauces



Figura 12. Encauzamientos de los barrancos de El Cercado en Sta Cruz y de Guía en Guía de Isora Antes de su canalización los cauces naturales no disponían de sección hidráulica definida. (CIATF)

II.3.1. Normativa aplicable

Para el dimensionamiento de las obras de canalización de cauces de barranco se toma como referencia el valor de «caudal punta» en el punto de desagüe de la cuenca vertiente al tramo de cauce a canalizar. Al respecto, la Instrucción de Carreteras 5.2-IC Drenaje superficial, aprobada por la Orden del MOPU de 14 de mayo de 1990 establece que: *«...Para la comprobación de las condiciones de desagüe de una obra de drenaje transversal donde haya posibilidad de daños catastróficos (apartado 1.5.3.2.)…., el periodo de retorno se tomará hasta de 500 años...».* Dicho período de retorno se contempla igualmente en el artículo 34.2 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla la Ley 12/1990 de Aguas para Canarias; aunque en este caso se hace extensible a cualquier obra que *modifique la capacidad de evacuación de un cauce*.

No es pues sino a partir del año 1990 cuando se tiene la obligación de dimensionar las obras de drenaje de forma que permitan desaguar caudales de escorrentía asociados a temporales de lluvia de 500 años de tiempo de retorno (T = 500 años). Anteriormente era habitual diseñar este tipo de obras con unos niveles de seguridad relativos a sucesos de lluvia con probabilidades de ocurrencia de 25, 50 o a lo sumo de 100 años, pues así era lo establecido.

Por su parte, las Normativas del PHT y del PDA recogen una serie de *requerimientos específicos* que se irán comentando en paralelo a las medidas correctoras.

II.3.2. Algunas referencias históricas

Hace más de dos siglos, en la ciudad de Santa Cruz, sin que mediara una normativa semejante a la comentada ya se buscaba la confluencia de objetivos a la hora de ejecutar este tipo de obras: por un lado, era necesario avanzar en el desarrollo urbano de la ciudad pero sobre todo se tenía en mente prevenir y evitar los daños ocasionados por las riadas. Así parece deducirse de las referencias existentes de la

que, posiblemente, haya sido una de las primeras obras de encauzamiento cubierto en la isla. Tuvo lugar en el barranquillo de El Aceite y a su respecto, Luis Cola Benitez hace el siguiente comentario en su libro «Barrancos de Añazo»: *La existencia del barranquillo fue un problema desde los primeros tiempos por los* ***daños*** *que ocasionaba cada vez que llovía con cierta intensidad…1798, año en que se emprenden los trabajos para* ***abovedar*** *el tramo inferior del cauce lo que tuvo que representar una evidente mejora, a la vez que considerable ventaja para el* ***desarrollo del núcleo urbano****…* . Años más tarde (*1810*) se emprende una actuación similar en el *barranquillo de San Francisco* y en ese mismo siglo se hace lo propio en el de *San Antonio*; ambas también en Santa Cruz. *No es difícil imaginarse los rudimentarios medios técnicos y materiales con que se realizaron estas obras* comenta Cola Benitez, haciendo también relato de las periódicas visitas de temporales de lluvia a la isla que *arruinaban* una y otra vez tan frágiles obras, obligando a las consiguientes reconstrucciones.

Entrados en el siglo veinte no son sino las obras de ampliación y de reparación en estos tres *barranquillos* las únicas reseñables respecto del tema que nos ocupa.

Fue en la segunda mitad del pasado siglo, con la consolidación de la industria turística cuando la red de drenaje, no pudiendo evitar ser ajena a la fuerte expansión urbanística, tuvo que asumir la inserción de canalizaciones en su denso entramado de cauces. Es muy improbable encontrar tramos de barranco en su estado natural dentro de los principales núcleos urbanos o turísticos; los más, discurren ocultos bajo los viales canalizando las escorrentías mediante conductos de diferentes estructuras y dimensiones; otros han sido desviados hacia barrancos vecinos.



Figura 13. Barranco de El Aceite canalizado a cielo abierto y desviado hasta el de Santos. Su estructura hasido objeto de varias obras complementarias estos últimos años.

II.3.3. Encauzamientos abiertos

A diferencia de las canalizaciones «entre muros», con estas infraestructuras se trata de priorizar la funcionalidad del barranco frente a la demanda de suelo, estableciendo previamente el «deslinde» del espacio que debe ocupar el cauce respecto de los terrenos colindantes. A continuación y bajo criterios estructurales e hidráulicos, al cauce se le encierra entre cajeros con el fin de homogeneizar su geometría y acomodar su trazado al nuevo entorno; garantizando además la capacidad de desagüe necesaria para evacuar los caudales de avenida de carácter extraordinario.



Figura 14. Canalizaciones de distintas geometrías y materiales, con soleras naturales o tratadas.

II.3.4. Encauzamientos cerrados

Con la cubrición del cauce de un barranco se pretende, normalmente, ampliar la disponibilidad de suelo, aunque esté limitada a unos determinados usos.

Lógicamente, los criterios estructurales son más exigentes que en las canalizaciones abiertas pues la obra deberá soportar las sobrecargas derivadas de la actividad que ha forzado su enterramiento. Por otro lado, para su conservación y mantenimiento es necesario dotarlas de elementos específicos que lo faciliten.



Figura 15. Canalizaciones cerradas con distintos tipos de estructura y secciones (CIATF)

II.3.5. Cauces canalizados en cruces con viales

El cruce de los viales con los barrancos se resuelve de tres formas; cada una de ellas con diferentes implicaciones para la hidrología del barranco:

a) Con **viaductos**

Bajo su estructura se desaguan los mismos caudales que circulaban por la sección original de barranco antes de la construcción de la obra.



Figura 16. Viaductos; dos de ellos en fase de construcción (CIATF)

b) Con obras de **canalización**

La Instrucción de Carreteras (5.2.IC) en su artículo 5.1. define el objeto principal que se persigue con estas obras de drenaje transversal (ODT), que no es otro que *dar continuidad a la red natural del terreno que se ve interceptada por una vía de comunicación*. En consecuencia, la sección hidráulica se dimensiona para garantizar el paso de un determinado caudal de cálculo que, según la normativa actual, es aquel que se corresponda con un tiempo de retorno de 500 años.



Figura 17. Diversos tipos de geometría y de dimensiones en las ODT (CIATF)

c) con pasos en **badén** que permiten compartir –no siempre al mismo tiempo– el uso viario con el de desagüe del barranco.

II.3.6. Afecciones a la hidrología insular

Cuando la obra de encauzamiento dispone de solera artificial no ha lugar el fenómeno *infiltración en o cauces*; en consecuencia disminuye la infiltración y aumenta la escorrentía hacia el mar. Además, el casi seguro aumento de la velocidad de circulación de las escorrentías respecto de la situación original, así como la sustancial modificación de la cuenca vertiente en dimensiones y contenido, derivan cambios en el tiempo de concentración y en las características de dicha cuenca vertiente, muy decisivos a la hora de evaluar los **caudales máximos de avenida**.

El alcance de las afecciones relativas a la recarga y la escorrentía solo será significativo cuando el tramo encauzado supere ciertas dimensiones. Analizadas en el global de la isla ya son apreciables pues son muchas las infraestructuras existentes

II.3.7. Afecciones y daños estructurales

Además de las comentadas modificaciones en la hidrología local, estas obras también pueden derivar «daños», tanto en la propia obra de canalización como en las zonas aledañas si se produce el desbordamiento de las escorrentías a causa de:

1. Insuficiencia de **capacidad hidráulica** para drenar los caudales de avenida de carácter extraordinario
2. La **obstrucción** parcial o total al paso de las escorrentías debido a:
   2a. la acumulación de arrastres en su interior
   2b.el colapso de la propia estructura

Por otro lado, el paso de las riadas con velocidad alta favorece el proceso de erosión que afectando, sobre todo, al piso del encauzamiento puede dejar al descubierto la cimentación de los hastiales; incluso el conjunto de la obra puede quedar «colgada» si el proceso erosivo alcanza los bajos de dicha cimentación.



Figura 18. Restos de una canalización enterrada y muro de encauzamiento «colgado» (CIATF)



Figura 19. La obstrucción de la ODT ocasiónó la invasión de las escorrentías al vial (CIATF)

Además, las sobrecargas de peso encima de la clave pueden dar lugar a patologías estructurales que pueden ocasionar el colapso de la obra.

II.3.8. Medidas correctoras

II.3.8.1 En obras anteriores a 1990

Es a partir del año 1990 cuando se establece el período de retorno de 500 años para el cálculo del caudal de diseño de las obras de drenaje. A partir de esa fecha, las actuaciones de la Administración Hidráulica –el Servicio Hidráulico de la COPVA los primeros años y el CIATF a partir de 1995– han sido consecuentes con dicha medida. Ahora bien, en los años precedentes fueron muchas las obras ejecutadas en cauces de barranco; en algunos casos sin que hubiera mediado acto administrativo que las refrendara y en el resto con autorizaciones conformadas a una normativa menos exigente que la actual. Salvo los grandes viaductos, muchas de dichas obras disponían de capacidades hidráulicas bajas que se han ido poniendo en evidencia con los temporales de lluvia ocurridos en los dos últimos decenios.

En el CIATF no se era, ni se sigue siendo, ajeno a esa circunstancia. Una de las primeras iniciativas al respecto fue intentar conocer, mediante una laboriosa inspección a los cauces de la isla, la situación de la red de drenaje territorial, en especial la que no se encontraba en su estado natural. Labor ésta que tuvo su prolongación en nuevas inspecciones de detalle y su culminación en el Inventario de Puntos de Riesgo Hidráulico. Entre medias, hubo comunicaciones, advertencias,… a los promotores de las irregularidades detectadas para tratar de poner remedio a la situación. Fueron muchos los logros conseguidos.

Ciñéndonos a las obras con capacidad de drenaje insuficiente, han sido numerosas las que han sido rectificadas a lo largo de estos últimos años; en muchos casos aprovechando situaciones de oportunidad; p.ej.: con las obras del tercer carril en la TF-2 se rectificaron las secciones de las primitivas ODT que no cumplían la normativa. Al ser casos muy particulares, el incremento de capacidad ha necesitado de medidas excepcionales, tales como:

✓ El aumento de la **sección** de la obra.



Figura 20. Aumento de la sección de una ODT en la autopista TF-1

Centro: en primer plano sección del tramo añadido a una ODT con motivo de la ejecución del tercer carril en la autopista TF-1; al fondo la sección del tramo primitivo ampliada en altura a costa de una sobreexcavción del piso (izquierda) y la consiguiente obra de protección (derecha)

✓ El incremento de la **pendiente** de la solera —si cabe esta opción— con el fin de incrementar, a su vez, la velocidad de paso de la riada

✓ El tratamiento de la **solera** a fin de disminuir su rugosidad y favorecer también la velocidad de paso

Cuando se ha optado por medidas que redundan en el aumento de la velocidad de paso de las riadas es indispensable sobreproteger solera y hastíales para evitar que el incremento de la actividad erosiva les genere daños. Realmente, la alternativa más eficaz ha sido:

✓ El **desvío** del cauce afectado hasta otro vecino con capacidad suficiente para acoger escorrentías ajenas.

II.3.8.2. En obras posteriores a 1990

Con la aprobación del PHT, la citada normativa de 1990 se complementó con una serie de *requerimientos específicos* a considerar según la longitud (L) de la obra a realizar y/o de la longitud acumulada (Lacum) del conjunto de tramos de cauce cubiertos:

a. los encauzamientos cubiertos con L ≥ 16 m habrán de disponer de:
   - secciones **visitables** (PHT: art. 156º)
   - galerías de **servicio** (PHT: art. 157º)

   si L ≥ 25 m o Lacum ≥ 100 m:
   - secciones que permitan la **limpieza mecánica** (PHT: art. 158º)

   si Lacum ≥ 500 m y Q > 25 m^3/s:
   - secciones que permitan el **acceso rodado** (PHT: art. 159º)



Figura 21. Encauzamientos visitables con medios de acceso –rodado en el primero– a su interior

   con Lacum ≥ 500 m:
   - módulos de inspección (PHT: art. 160º)

b. los encauzamientos en general (PHT: art. 161º) deberán contar con:
   - medios para **limitar** la velocidad de las avenidas según caudales (Q):

   V ≤ 6 m/s para Q de T=50años y V ≤ 8 m/s para Q de T=500años



Figura 22. Medidas destinadas a limitar la velocidad de paso de las escorrentías Reduciendo la pendiente y/o aumentando la rugosidad del piso y cajeros (CIATF)

- elementos de **retención de acarreos** (PHT: art. 162º) mediante *diques, barreras o cuencos* en los que se garantice el acceso de medios mecánicos[1].



Figura 23. Acceso a cauce para medios mecánicos y cuencos para retención de acarreos (CIATF)

- **plan de mantenimiento** de la obra (PHT: art. 163º) que deberá fijar:
  - ✓ *Los trabajos a realizar.*
  - ✓ *La periodicidad de los trabajos, que será la necesaria para que se mantengan las condiciones de funcionamiento.*
  - ✓ *La asignación de las medidas económicas necesarias para su realización*

[1] A estas infraestructuras se les dedica un apartado específico en el capítulo XX



Figura 24. Encauzamiento del barranco de Las Arenas bajo el P. I. El Mayorazgo en La Orotava
Superiores: rampa de acceso al cuenco de retención de acarreos; en el centro, el cuenco
Inferiores: canalización descubierta a continuación del cuenco e inicio de canalización subterránea

II.3.8.3. Otras medidas complementarias

Resguardos: Es aconsejable incrementar la altura de la sección de encauzamiento de cálculo en 0,50 centímetros para prevenir que no contacten con el techo los elementos flotantes (p.ej.: ramas de árboles) que acompañan a la riada.

II.4. CAUCES EXCAVADOS EN «ZANJA»

Este tipo de «estado» de cauce se adopta normalmente en los desvíos o desplazamientos del curso de un cauce. De ambas actuaciones se hacen nuevas referencias en posteriores apartados.



Figura 25. Cauces en «zanjón». Imagen izquierda: el cauce del barranco de El Río (CIATF)

II.5. CAUCES USADOS COMO «VÍALES»

Excepcionalmente, algunos cauces se usan como «medio rodado de locomoción»:

✓ como **Aparcamiento** de vehículos

✓ como **Viales** con o sin asfaltado



Figura 26. La pista hace las veces de vial y de canalización del barranco de la Ladera en Güimar

✓ como **Badenes** en los que caben dos opciones:

• con elementos drenantes inferiores:



Figura 27. Badenes con elementos drenantes inferiores (CIATF)
Los caudales que superaron la capacidad de los tubos drenantes desbordaron por encima arrancando la valla protectora en el badén de la izquierda; en el de la derecha las escorrentías dejaron su huella

• sin ningún tipo de drenaje complementario incorporado



Figura 28. Badenes sin elementos drenantes inferiores (CIATF)

II.5.1. Afecciones a la hidrología insular

Al sustituir el piso natural del cauce por asfalto u hormigón se está favoreciendo la circulación de las escorrentías en detrimento de la infiltración. Ahora bien, a menos que la permeabilidad primaria y/o secundaria del cauce original fuera alta y que la longitud del tramo afectado sea muy grande, tales afecciones son insignificantes.

II.5.2. Afecciones y daños estructurales



Figura 29. Restos del «barrancamino» de la figura 26 después del paso de una riada (CIATF)





Figura 30. Vehículos atrapados entre los arrastres sólidos de una riada (CIATF)
En la imagen de la derecha: vehículos en riesgo de ser arrastrados hacia el mar si se incremanta el caudal de avenida.





Figura 31. Badenes dañados e interrupciones del tráfico rodado con el paso de la riada (CIATF)

II.5.3. Medidas correctoras

La utilización de los cauces de barranco como **viales** está regulada en la normativa del PHT (art. 169º):

1. *El empleo de los cauces como vías de acceso o caminos en condiciones meteorológicas favorables, se efectuará bajo la responsabilidad única de los transeúntes de los mismos.*
2. *En los supuestos de condiciones meteorológicas adversas,… no se dará uso a los cauces como vías de acceso o caminos en ningún caso, salvo para labores de rescate o análogas.*

Con respecto al **estacionamiento** de vehículos en los cauces en el apartado 3 del mismo artículo se establece:

3. *Queda prohibido el uso de los cauces como zonas de aparcamiento. Excepcionalmente, para eventos no habituales de interés público,…*

En los cruces de vías y barrancos en **badén**, lógicamente la medida correctora más eficaz es la sustitución del badén por una obra de drenaje transversal (ODT).



Figura 32. Cruce de la carretera TF-47 (Armeñime-Plya S Juan) con el barranco del Agua (CIATF) Con el badén, eran frecuentes los desbordamientos de las escorrentías, ocasionando interrupciones del tráfico y la invasión y el deterioro de una vía local. La sustitución del badén por una ODT y el amuramiento de dicha margen izquierda (imagen derecha) pusieron fin a tales incidencias.

II.6. CAUCES «DESPLAZADOS» DE SU TRAZA ORIGINAL

Aquellos cauces de titularidad pública incluidos en el Inventario Oficial de Cauces, mantendrán su geometría de planta… pudiendo alterarla *a requerimientos urbanísticos o ambientales previa autorización administrativa del CIATF* (PHT: art. 154º - 1 y 2)

Los cauces de naturaleza no pública…, podrán ser objeto de alteración en su geometría para adaptarse a requerimientos urbanísticos o ambientales, siempre y cuando los trazados alternativos propuestos garanticen su viabilidad hidráulica y su capacidad para evacuar los caudales asociados a un T = 500 años. (PHT: art. 154º - 3)



Figura 33. Tramo final de la canalización del barranco del Cercado.
A partir de su encuentro con el bco. de Las Huertas ha ganado en anchura (imagen derecha) a costa del desplazamiento hacia el exterior del primitivo cajero de la margen izquierda (imagen izquierda), con el objeto de evitar o al menos minimizar el riesgo de desbordamientos. (CIATF)



Figura 34. Barranco de Las Huertas (San Andrés) antes y después de su encauzamiento (Ortofoto).
El barranco encauzado ha sido desplazado ligeramente eliminando zonas de meandros y dando cabida en su margen izquierda a un vial asfaltado.

II.7. CAUCES «DESVIADOS» HACIA OTROS CAUCES

El desvío de un cauce hacia otro se debe, por lo general, a exigencias urbanísticas; no obstante, también se han llevado a cabo en zonas sensibles a las inundaciones por desbordamiento. Tal fue el caso del cauce del barranco de La Tapia, desviado hacia el barranco de Icerse para dejar inoperante el tramo final a su paso por la plaza de Candelaria, muy cerca de la Basílica.

La operación de desvío puedes ser total o parcial, según que el trasvase implique a la totalidad o a parte de las escorrentías circulantes por el cauce oferente.



Figura 35. Desvío del barranco Risco Tierra al barranco de Las Hornillas, en Arafo (Google Map).

Cuando el cauce del barranco Risco de Tierra alcanza la ODT de la TF-1 desvía su curso hacia el barranco de Las Hornillas a través de una doble obra de trasvase: por encima de la vía un zanjón (imagen inferior izquierda) desvia parte del caudal; por debajo, una vez salvada la ODT, una obra de canalización (imagen inferior derecha) recoge el resto (CIATF).







Figura 36. Tramo final del cauce del barranco de La Montañeta en Barranco Grande (CIATF)

El cauce natural había sido parcialmente sustituido por una ODT en la carretera TF-28 y otra de canalización bajo los viales de una urbanización; ambas infraestructuras, con problemas de capacidad, se sustituyeron con una obra de trasvase hasta el barranco Grande, enterrada bajo los viales

II.7.1. Afecciones a la hidrología insular

En general, la ejecución de una obra de desvío de un cauce hacia otro debe atenerse a lo dispuesto en la Normativa del PHT:

Cuando se pretenda ejecutar un desvío de un cauce hacia otro cauce, se deberá analizar la viabilidad de la operación en función de las repercusiones que

pudieran derivarse tanto sobre cauce a derivar -en el tramo inferior al desvío - como sobre el cauce receptor. (PHT: art. 155º)

Aunque las *repercusiones* que aquí analizamos son hidrológicas, cabe recordar que tan importantes como aquellas son las **administrativas**; sobre todo cuando el desvío afecta a cauces de titularidad pública y debe procederse a la desadscripción y/o adscripción de terrenos al dominio público hidráulico, así como a la redefinición de las zonas de competencia de cauces. Téngase en cuenta que:

- entre el punto de desvío y el de recepción media la obra de encauzamiento que los une la cual, normalmente, ocupa suelo de titularidad privada.
- en el cauce receptor aumentará la altura de la lámina de agua original una vez que reciba los caudales desviados; en consecuencia:
- las dimensiones de las zonas de dominio público hidráulico, de servidumbre o de inundabilidad se revisan a la alza en función del espacio ocupado por los caudales punta a los que se les asocia; los cuales, lógicamente, se habrán incrementado.
- en el cauce aportador, aguas abajo del punto de desvío, también habrá que obrar en consecuencia pues los caudales circulantes disminuirán en proporción a los caudales que, procedentes de la subcuenca superior, se deriven al otro cauce.

En cuanto a la importancia cuantitativa y cualitativa de las afecciones **hidrológicas** e incluso **medioambientales,** depende de varios factores:

- la localización en planta del punto de desvío en el cauce aportador
- la longitud, estructura y dimensiones de la canalización de desvío
- la localización del punto de conexión de ésta con el cauce receptor
- el caudal a derivar; el cual según lo que se establezca al respecto podrá ser:
  - el total que accede al punto de desvío
  - el excedente al caudal máximo de paso asignado el tramo inferior del cauce oferente.
  - una fracción del caudal que llega al punto de desvío

En el segundo caso el desvío sólo se activará cuando el caudal circulante que acceda al punto de desvío supere ese umbral. Mientras que en la tercera opción el desvío estará operativo siempre que circulen escorrentías por el tramo superior del cauce a desviar y que, además, dichas escorrentías alcancen el punto de derivación.

Además de la alteración de la **topología** local, también el régimen de aportaciones se ve afectado. Los volúmenes de aguas de **escorrentía** que circularán por los tramos inferiores de ambos cauces –el oferente y el receptor– disminuirán en

el primero y se incrementarán en el segundo. Las variaciones de los volúmenes **infiltrados** en uno y otro cauce serán del mismo signo que las de las escorrentía.

II.7.2. Afecciones y daños estructurales

La viabilidad de la operación de desvío contempla dos condiciones esenciales relacionadas con las capacidades hidráulicas de la canalización de desvío y el tramo inferior del cauce receptor:

1ª. la primera deberá poder transportar la fracción que corresponda derivar del caudal máximo de avenida para T = 500 años circulante por el punto de desvío en el cauce aportador.

2ª. el tramo receptor deberá evacuar el caudal conjunto conformado por el máximo de avenida para T = 500 años que le corresponde en el punto de recepción y el máximo de avenida que se le deriva.

Si las dimensiones de ambas infraestructuras no son consecuentes con tales condicionantes, se producirán **desbordamientos** con una periodicidad acorde con la diferencia existente entre las capacidades hidráulicas establecidas y las que tengan realmente.

Garantizar la estabilidad de la obra de desvío es otro condicionante para evitar riesgos de colapso, al que acompañarían los consiguientes desbordamientos e inundaciones. Normalmente estas canalizaciones se labran sobre el terreno en forma de «zanjones».

II.7.3. Medidas correctoras

El cumplimiento de la norma 155º del PHT implica asumir los condicionantes precedentes en los proyectos de este tipo de obras.

II.8. VÍAS DE DESAGÜE TERRITORIAL

II.8.1. Concepto

En el PHT se les considera como un componente más de la RDT – *con nivel asimilable al de cauces* – y se les define en el Glosario como:

aquellas infraestructuras artificiales de drenaje en alta que se disponen en el territorio para solucionar el drenaje de un ámbito, bien sea por requerimientos de la ordenación del territorio, bien sea por la inexistencia previa de drenaje natural suficiente para soportar la necesaria utilización del espacio; … atenderán los caudales generados desde diferentes ámbitos para un período de retorno mínimo de T=50 años, para su transporte hacia cauces o hacia el mar.



Figura 37. Vía de desagüe en el Polígono Industrial de Güimar (CIATF)
Antes de instalares el Polígono, por las inmediaciones de la vía de desagüe discurría un barranquillo. En la actualidad, la función de esta arteria de drenaje artificial va más allá de la sustitución de dicho barranquillo. Forma parte de la RDT como un cauce más.

II.9. LAS REDES URBANAS DE AGUAS PLUVIALES

II.9.1. Concepto

Son…*consideradas como infraestructuras capaces de desaguar el caudal de su cuenca asociada para un periodo de retorno de T =10 años, hacia cauces o vías de desagüe territorial. En ningún caso acogerán otros caudales como los de aguas residuales, regeneradas, de riego, etc).*

Al respecto, el artículo 226º de la normativa del PHI establece que:

1. Corresponde a los respectivos Ayuntamientos, de conformidad con lo previsto en el art. 25.2 de la Ley de Bases del Régimen Local, la planificación, ejecución –en su caso– y gestión de los colectores principales y las redes de pluviales que discurran por su municipio, como parte integrante de su sistema de alcantarillado urbano.

2. La red de drenaje territorial será objeto de mantenimiento y limpieza preventivos por sus titulares o por las Administraciones Públicas responsables de su salubridad

CAPÍTULO III
ACTUACIONES COMPATIBLES CON LA «RDT»

III.1. TIPOLOGÍA

En este capítulo se comentan las distintas infraestructuras y/o actuaciones en zonas de barranco o próximas a él llevadas a cabo con distintos objetivos:

- ✓ de mejora hidrológica e hidráulica, como:
  - **azudes** y **cuencos** para la retención de acarreos
  - **diques de estabilización** del lecho del cauce
  - **tratamiento del lecho** del cauce para su regularización
  - **elementos interceptores** de las escorrentías
    - de ladera
    - urbanas
  - **limpieza de escombros** en las canalizaciones
  - **galerías de servicio** y/o **pasatubos**
- ✓ comerciales, como:
  - **extracción de áridos** en los cauces naturales o canalizados
- ✓ de aprovechamiento de las aguas superficiales, como:
  - **tomaderos, balsas** y **diques de presa**
- ✓ de transporte de las escorrentías hacia el mar, como:
  - **canales de desagüe** ejecutados en terrenos o plataformas ganadas al mar a continuación de la desembocadura natural del barranco

III.2. ELEMENTOS PARA LA RETENCIÓN DE ACARREOS

III.2.1. Concepto

Este tipo de obra tiene por objeto impedir que los arrastres sólidos que transportan las riadas penetren en el interior de las obras de encauzamiento o de drenaje transversal y evitar así daños estructurales y/o su obstrucción total o parcial. Con los mismos fines también se localizan por delante de los «tomaderos» para captación de aguas superficiales.

Su ejecución obedece a la toma de medidas correctoras o preventivas que la Normativa del PHT establece en su artículo nº 162:

Cualquier propuesta de encauzamiento -abierto o cerrado- deberá contener, como actuaciones complementarias, las obras destinadas a dar solución a la sedimentación de los acarreos disponiendo elementos de retención, tales como ***diques, barreras o cuencos****,…*



Figura 38. Cuenco para la retención de escombros anterior a una ODT en el bco de Troya (CIATF)



Figura 39. Muro de contención de acarreos en el bco. de Anchieta con orificios drenantes (CIATF)



Figura 40. Dique de gaviones y dique de hormigón para contención de acarreos (CIATF)



Figura 41. Dique mixto (CIATF)



Figura 42. Retenedor de detritus en el cauce del barranco de La Leña en Santa Cruz. (CIATF). En el proyecto a la obra se la describe como *una barrera contra flujos de detritus hecha de redes anulares, enmarcada dentro de sendos estribos de hormigón en masa, de 4m de altura y 17m de longitud,unidos entre sí por un rastrillo enterrado de hormigón armado que actúa como viga de unión entre ambos, creando un conjunto que funciona en forma solidaria de "U"*. La barrera así creada tiene *una capacidad de absorción de energía de hasta 1600kj*

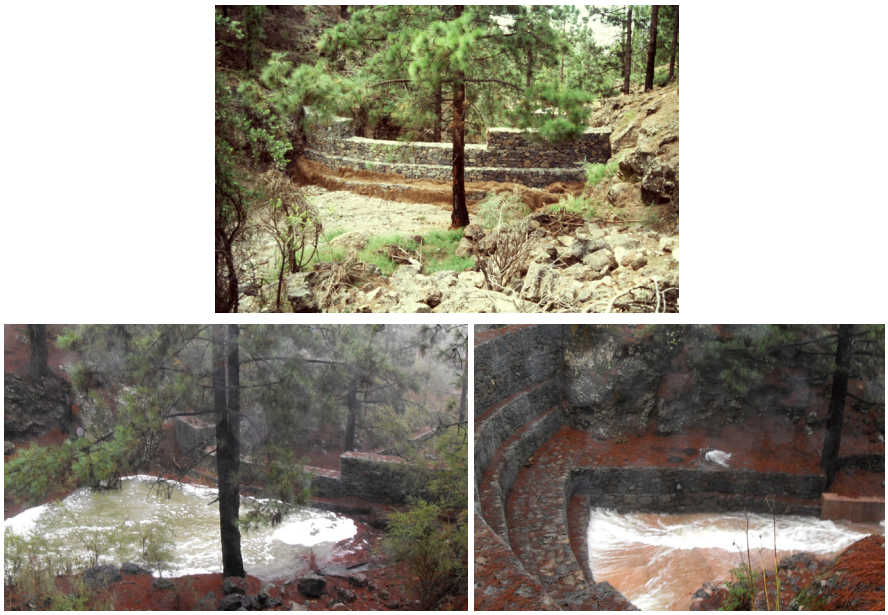


Figura 43. Dique de contención de acarreos anterior al tomadero de la balsa de Trevejos (Vilaflor).

III.3. ELEMENTOS ESTABILIZADORES DEL CAUCE

III.3.1. Concepto



Figura 44. Dique en el cauce del barranco de Santos (Sta. Cruz) y rastrillos en el de Guaza (Güimar)

Rastrillos: *Por lo general los tramos de cauces canalizados son de "**lecho móvil**" pues el sustrato no es de roca compacta, y la canalización se ha reducido a construir los "**cajeros**" (muros laterales de encauzamiento) sin dotar de "**solera**" (losa de hormigón en el fondo) a la canalización. En estos casos, según la velocidad de los filetes líquidos de agua en contacto con el lecho se produce sucesivamente sedimentación – erosión – sedimentación, con lo que el nivel del lecho sube, baja y sube, respectivamente…Para reducir el proceso de erosión, evitando que se profundice en exceso el lecho del cauce (y evitar que esa erosión local y temporal socave los muros) suelen construirse "**rastrillos**" (a modo de vigas enterradas y transversales al cauce)*[2].

III.4. TRATAMIENTOS DE REGULARIZACIÓN DE CAUCES

El objetivo principal de este tipo de actuación es eliminar, o rebajar al máximo, el riesgo de desbordamiento de las escorrentías fuera de los cauces en aquellas zonas donde los elementos cercanos al barranco pueden ser afectados por aquellas.



Figura 45. Homogeneización de la sección hidráulica del cauce del barranco de San Felipe (CIATF)

[2] Informe del CIATF acerca de las actuaciones realizadas en la desembocadura del barranco de El Bufadero – José D. Fernández Bethencourt – 09/2010

III.5. INTERCEPTORES DE ESCORRENTÍAS DE LADERA

Según su cometido pueden ser:

1. canales interceptores perimetrales de protección de zonas urbanas
2. cunetas de guarda en carreteras

III.5.1. Los canales interceptores perimetrales en laderas

En el Glosario del PHT, cuando se define la RDT, se alude a estas *infraestructuras de defensa y encauzamiento para la protección de ámbitos urbanizados con la misión de captar y derivar la escorrentía de ladera que pudiera afectar a tales ámbitos hacia cauce o hacia el mar.*



Figura 46. Canal interceptor de las «escorrentías de ladera» en María Jimenez (Santa Cruz).

Su presencia debe ser obligada en aquellas *zonas o sectores del territorio en los que no existe posibilidad de vertido directo a cauce o al mar de las aguas pluviales* y además se localizan en la cabecera de ámbitos urbanizados susceptibles de recibir el impacto de las riadas. En consecuencia tales infraestructuras *deben ser capaces de desaguar el caudal de escorrentía de su cuenca asociada para un período de retorno de T = 500 años, complementado con el porcentaje de acarreos sólidos que corresponda*

III.5.2. Las cunetas de guarda en las vías de comunicación

También son infraestructuras de desagüe; en este caso de las escorrentías de ladera que puedan invadir los viales del transporte rodado.

En el apartado 3.3.1 de la Instrucción de Carreteras 5.2.IC se recoge:

La escorrentía de los taludes de desmonte… se recogerá mediante caces… y cunetas… eventualmente complementados con colectores. En taludes que reciban escorrentías importantes por su coronación o por eventuales banquetas, podrá ser necesaria la implantación de ***cunetas de guarda****…*



Figura 47. Cunetas de guarda.

Aunque a veces se habilitan zanjones excavados en las laderas vertientes a la vía, lo habitual es construir canales con cajeros y solera de hormigón, emplazados bien a media ladera en paralelo al trazado de la vía o bien al pie del talud, haciendo las veces de cunetones. Lo normal es que desagüen directamente sobre el cauce más cercano; no obstante, en ocasiones, la orografía no lo permite y hacen la descarga sobre el cunetón de la vía, conectado, este sí, con algún cauce del entorno.

III.6. INTERCEPTORES DE ESCORRENTÍAS URBANAS

III.6.1. En cruces del viario urbano con los cauces

El apartado c) del artículo 196º de la Normativa del PHT prescribe que:

En los cruces del viario urbano con los cauces, deben dotarse de ***interceptores transversales*** *de bordillo a bordillo, capaces de evacuar los caudales de escorrentía superficial asociados a un periodo de retorno de T=50 años*

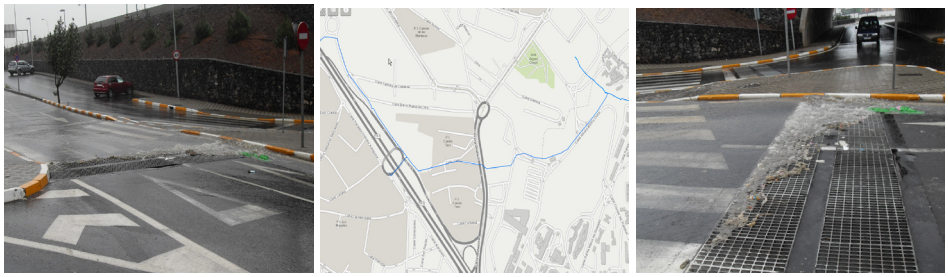


Figura 48. Interceptor transversal de escorrentías urbanas (CIATF).
Cruce de la calle de Las Macetas con el barranquillo –encauzado– de Los Majuelos afluente del barranquillo de la Montaña de Ofra afluente a su vez del barranco del Hierro.

III.6.2. En los viales urbanos de largo recorrido

Los viales urbanos de largo recorrido y/o receptores de grandes aportes de escorrentías propias y ajenas suelen contar con, además de rejillas laterales y/o sumideros asociados a las redes de pluviales, rejillas transversales −similares a las precedentes− interceptoras de las escorrentías, cuyo destino suele ser algún barranco vecino.



Figura 49. Rejilla interceptando escorrentías urbanas: aguas arriba y aguas abajo (CIATF)
Las imágenes son suficientemente descriptivas de la eficacia de estas infraestructuras hidráulicas

III.7. PRESAS DE EMBALSE, BALSAS Y TOMADEROS

Presa de embalse: obra ejecutada transversalmente al eje de un cauce con el objeto de cerrar el paso del agua para crear un depósito de almacenamiento.



Figura 50. Presas en los barrancos de Iboibo, Troya y Las Moradas

Balsa en barranco: Aprovechando un ensanchamiento del cauce se ejecuta una infraestructura de almacenamiento dejando el libre discurrir de las aguas de escorrentía superficial; sin prejuicio de que, mediante un tomadero, parte o todo el caudal de avenida pueda derivarse a su interior.



Figura 51. Balsas en cauces de barranco (propia y BALTEN)
Las escorrentías de agua superficial circulan por un lateral de la balsa en ambos casos

Tomadero: obra ejecutada transversalmente al eje de un cauce con el objeto retener parte o todo el caudal de escorrentía circulante por él para derivarlo hasta un estanque o balsa de almacenamiento



Figura 52. Tomaderos en el barranco de La Vica y en el barranco de Santos

III.8. EXTRACCIONES DE ÁRIDOS

La extracción de los arrastres sólidos que sedimentan en el curso bajo de los cauces tiene dos fines principales:

1. el aprovechamiento de los áridos
2. la recuperación de la sección del cauce en los tramos encauzados

III.8.1. La extracción de áridos para su aprovechamiento

Esta actividad está regulada tanto por el Reglamente del Dominio Público Hidráulico: artículos 35 y 36, como por la Normativa del PHT: artículos 164º, 165º, 166º y 167º. Para el otorgamiento de una autorización o concesión para el aprovechamiento de los áridos de un barranco, se ha de *justificar que el desarrollo de los trabajos está orientado al encauzamiento y mejor desagüe del agua* (LAC) y además *se ponderará su* ***incidencia sobre el estado de las masas de agua*** y *se considerará su posible incidencia ecológica desfavorable y se exigirán –en su caso--las adecuadas garantías de restitución del medio.* Por tanto, sólo caben posibles afecciones con las extracciones incontroladas.

III.8.2. La extracción de áridos para la recuperación de la sección hidráulica de los cauces artificiales

A lo largo de los siglos, los cauces en su estado natural no han necesitado de operaciones de limpieza. Históricamente, las riadas han ido sometiendo a los cauces de los barrancos a procesos alternos de arrastre y de sedimentación de materiales sólidos; se entiende que los barrancos en su estado natural «se limpian solos».

Ha sido a partir de la modificación de la estructura morfológica de los barrancos cuando la «mecánica» natural deja de ser operativa, pues no es de esperar que una próxima riada despeje un encauzamiento o una obra de drenaje transversal colmatado de escombros y hay que actuar de inmediato retirando los escombros.



Figura 53. Cauce de barranco antes y después de la retirada de los arrastres de una riada (CIATF)

III.9. GALERÍAS DE SERVICIO

El apartado 1 del artículo 157º de la Normativa del PHT prescribe que:

Cualquier encauzamiento cubierto cuya longitud supere los dieciséis (16) metros deberá llevar aparejado la ejecución de galerías de servicios… Excepcionalmente, el CIATF podrá exigirlas para longitudes menores de dieciséis metros a la vista de las circunstancias concurrentes en cada caso.



Figura 54. Galerías de servicio anexas a canalizaciones artificiales (CIATF).



Figura 55. Flejes de tuberías metálicas sustituidos por conductos de polietileno (CIATF). En el bco. de Guía discurrían a cielo abierto; las nuevas lo hacen enterradas bajo el piso del cauce.

III.10. «PASATUBOS»



Figura 56. Pasatubos de distinto tipo, material y localización respecto de la canalización (CIATF).

III.11. CANALES DE DESAGÜE DE LAS ESCORRENTÍAS AL MAR

III.11.1. Concepto

Mención aparte merecen las obras de prolongación que, ejecutadas a partir de la desembocadura de los cauces, discurren bajo suelos ganados al mar. No se trata de encauzamientos de barrancos, pues no existía barranco en donde ahora existe tal obra de prolongación. Se trata pues de obras ajenas al dominio –público o privado– de los cauces las cuales se ejecutan, generalmente, en el interior de los puertos para la salvaguarda de las avenidas que discurren por barrancos cuyo desagüe natural en el mar se encuentra interrumpido por infraestructuras portuarias. El límite inferior de un barranco se corresponde con su desembocadura natural, bien sobre otro barranco o bien en el mar; cualquier obra artificial de prolongación es ajena a su naturaleza física, geomorfológica y geográfica.



Figura 57. Canal de desagüe a continuación del barranco del Bufadero (CIATF)
La canalización, en la dársena «este» del puerto de Santa Cruz, la conforman 10 conductos paralelos de 220 m de longitud y 3,65 m de ancho por 2,10 m de alto cada uno de ellos.

III.11.2. Funcionalidad

Estos denominados «canales de desagüe» construidos hace decenas de años, lo hicieron con unas características hidráulicas muy precarias: pendiente muy bajas, secciones insuficientes e incluso trazados sinuosos, que facilitaban el asentamiento progresivo de los materiales sólidos arrastrados por las riadas más torrenciales; la obra acababa taponándose, provocando por un efecto de sedimentación inducida la acumulación de acarreos hacia aguas arriba, afectando al propio barranco.

Las infraestructuras de este tipo construidas estos últimos años lo han sido a partir de concienzudos estudios hidrológicos e hidráulicos, previos a los proyectos de construcción, a partir de los cuales se garantizaba que sus dimensiones fueran más que suficientes para drenar caudales extraordinarios. Además, el proyecto contemplaba complementarlas con medios de limpieza y mantenimiento.

Barranco y «canal de desagüe», aún siendo infraestructuras distintas, pueden ser compatibles. La funcionalidad de los cauces queda garantizada por la

Administración Hidráulica en todo su recorrido hasta su desembocadura original, lugar a partir del cual el titular de estos conductos de prolongación se responsabiliza de mantenerlas en condiciones de desagüe, en su propio beneficio y complementariamente para el del propio barranco que así puede cumplir con su fin último: el desagüe de las escorrentías al mar.

CAPÍTULO IV
ACTUACIONES NO COMPATIBLES CON LA «RDT»

IV.1. INTRODUCCIÓN

En el interior de los barrancos pueden aparecer distintos «elementos» que, en función de su afección al discurrir de las avenidas, agrupamos en tres bloques:

1. Los que no impiden ni obstaculizan el desagüe de las escorrentías hacia el mar, tales como:
   - Canalizaciones artificiales
   - Obras de desvío y desplazamiento de cauces
   - Azudes para la regularización de cauces
   - Rastrillos
   - Cuencos de retención de acarreos
2. Los que derivan o retienen parte de las escorrentías circulantes por el barranco para su almacenamiento en balsas y/o presas:
   - Tomaderos
   - Muros de cierre de presas
3. los que representan un **obstáculo** para el desarrollo de las riadas como:
   - Conductos –en tubería o en canal– de diferentes usos
   - Construcciones permanentes
   - Infraestructuras para el soporte de determinadas redes de servicio
   - Vehículos y otros enseres arrojados a los barrancos
   - Escombros procedentes de las obras de explotación de aguas subterráneas cuando se acopian en o cerca del cauce.

Los de este último grupo son elementos no deseados pues pueden provocar arrastres y retenciones de sólidos que pueden dar lugar al desbordamiento incontrolado de las escorrentías fuera del cauce.

IV.2. CRUCES Y TENDIDOS DE CONDUCTOS EN CAUCES

La explotación y consecuente puesta en uso de las aguas subterráneas necesitó de una amplia red de transporte, conformada en cabecera por canales de largo recorrido que distribuyen el agua a sus destinatarios a través de bajantes.

IV.2.1. Los conductos de trasvase

La relación de los grandes conductos de transporte de agua, sean en canal o en tubería, con los cauces de los barrancos suele ser de cruce en forma de:

- ✓ acueducto:
  - sobre pilares
  - sobre obras de fábrica en forma de puente
- ✓ sifón
- ✓ enterrado bajo el cauce



Figura 58. Canal apoyado en pilastra sobre el mismo cauce (CIATF)
Son visibles las «cicatrices» de los impactos de las escorrentías sólidas. Más eficaz es apoyar los conductos sobre un puente o ejecutar las pilastres fuera del contacto de las riadas



Figura 59. Tuberías en plataforma adosada a viaducto y canales en cauce a nivel y en sifón.

IV.2.2. Los «bajantes»

Aunque algunos están construidos en canal, la mayoría discurren en tubería, haciendo coincidir su trazado con el lecho del cauce; medida esta muy habitual en las primeras décadas de explotación de las aguas subterráneas.

Ahora bien, no solo han sido las redes de transporte de agua las «invasoras»; también han hecho uso de los cauces conductos con usos muy distintos: aguas negras, residuales depuradas, de carburantes, de redes de telecomunicación,…



Figura 60. Encauzamiento, cauce natural y ODT usados para el tendido de tuberías (CIATF)

IV.2.3. Afecciones a la hidrología insular

Las tuberías son más vulnerables en el interior de un cauce –expuestas al impacto de las escorrentías– que en campo a través. Si transportan líquidos, éstos podrían alcanzar las balsas de riego si en el barranco en cuestión se captan las aguas de escorrentía para tal efecto. También podrían infiltrarse alcanzando algún acuífero.

IV.2.4. Afecciones y daños estructurales

La disminución de la capacidad hidráulica del barranco o de la obra de encauzamiento y la obstrucción del cauce –natural o artificial– por retención y acumulación de arrastres sólidos serían causantes de **desbordamientos** y posterior invasión de las escorrentías a las zonas colindantes con el barranco.

IV.2.5. Medidas correctoras

Para evitar tales incidencias desde el CIATF se ha venido imponiendo la ejecución, en paralelo a la obra de encauzamiento, de galerías de servicio para el tendido de conducciones. Requerimiento que se recoge en el artículo 157º de la normativa del PHT ya comentado literal y gráficamente en los apartados III.9 y III.10 del capítulo anterior.

En ocasiones los conductos se tienden anclados a las márgenes del barranco a una altura que les deje fuera del alcance de las avenidas.



Figura 61. Tuberías colgadas en el bco de Martianez (Pto. de la Cruz) y en el del Hierro (Sta. Cruz)

En los últimos años, otra medida llevada a cabo ha sido la de enterrar los conductos bajo el piso del cauce, tal como se hizo en el barranco de Guía a su paso por el casco urbano de Guía de Isora. Otra alternativa es extraerlas del cauce y enterrarlas bajo viales contiguos al barranco en cuestión, como fue el caso de la vía de cierre del anillo insular cuando se cruza con el mencionado barranco de Guía.

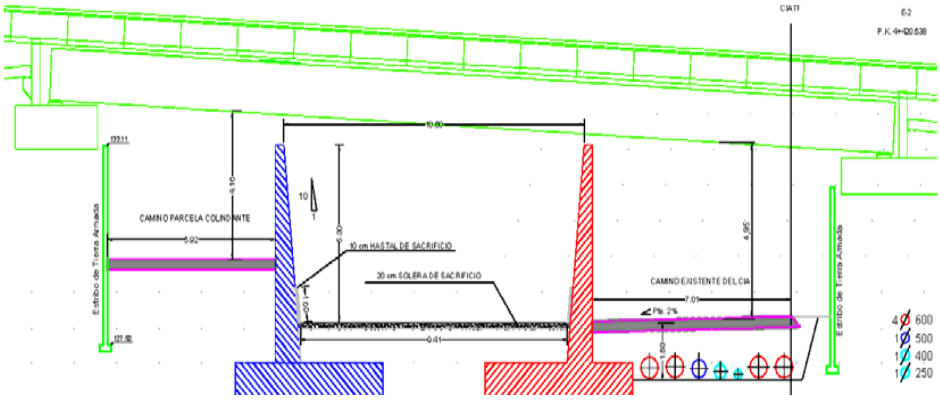


Figura 62. Sección de la obra de **e**ncauzamiento del barranco de Guía bajo la vía del Anillo Insular. Conductos asignados a distintos «servicios» se extrajeron del cauce y se enterraron bajo un camino

IV.3. OCUPACIÓN DEL CAUCE Y ZONAS ADSCRITAS CON ELEMENTOS FIJOS

IV.3.1. Con infraesturas diversas



Figura 63. Infraestructuras de «servicios» y edificación en zonas de cauce de barranco (CIATF)

IV.3.2. Con «construcciones» permanentes

Más preocupante es la ocupación de cauces o de zonas limítrofes con recintos o cuartos habitables, aunque lo sean de forma esporádica.

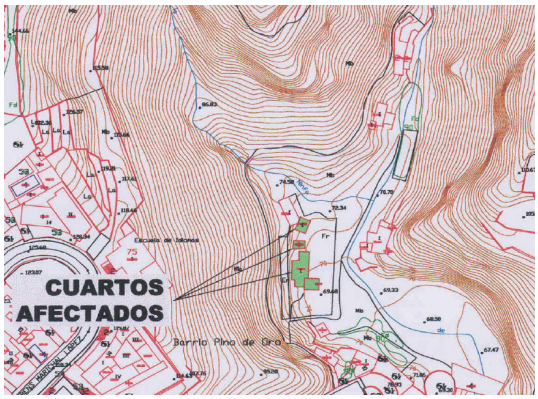




Figura 64. Cuartos ocultos por los escombros de una riada (CIATF). Una vez extraídos quedó su huella.



Figura 65. Grupo de edificaciones a pie de cauce y terraza y cuartos colgando sobre cauce (CIATF)

IV.4. EL USO DE LOS CAUCES COMO VERTEDERO



Figura 66. Cauces que fueron usados como vertederos(CIATF).
Era habitual arrojar a los cauces los escombros residuales de reformas domésticas, de vehículos, de aparatos domésticos,…

CAPÍTULO V
LOS CAUCES ARTIFICIALES EN EL ENTORNO URBANO Y MEDIOAMBIENTAL

V.1. NORMATIVA

Tanto la Normativa del PHT como la del PDA contemplan normas, medidas y recomendaciones respecto del desarrollo urbanístico y del respeto al medioambiente. En relación con las obras de encauzamiento hemos extraído las siguientes:

Apartado e) del artículo 196º del PHT

en las obras de encauzamiento y rectificaciones de cauce que se propongan en ámbitos desarrollados y en ámbitos de potencial desarrollo, se ***recomienda*** *la adopción de fórmulas de cauce artificial* ***poco profundo*** *y en especial, las de* ***doble cauce****, por su mejor adaptación a las condiciones medioambientales y su compatibilidad con los usos recreativos*

Apartado 3) del artículo 218º del PHT

Para la canalización de cauces en Espacios Naturales Protegidos se emplearán diseños estructurales que minimicen la impermeabilización de los suelos y que permitan la recuperación de la vegetación natural del cauce en el tramo en el que se actúe.



Figura 67. Distintas formas de presencia de la vegetación en los cauces artificiales. Una corriente de agua permanente alimenta un gran charco donde conviven diferentes hábitats. Derecha: los rastrillos, colmatados de arrastres, conforman un conjunto escalonado de terrazas donde crece una vegetación cuya envergadura es compatible con el desagüe de las avenidas (CIATF)

V.2. OBRAS HIDRÁULICAS INTEGRADAS EN EL «MEDIO».

Un par de páginas atrás hemos dado cuenta del uso de algunos cauces como «vertederos»; sirvan como contrapunto las obras hidráulicas que, integradas en diferentes medios, no «desentonan» con el paisaje e incluso en algún caso lo mejoran.



Figura 68. El barranco de El Hierro en Santa Cruz de Tenerife (CIATF)







Figura 69. Tramo final del bco. de Guama canalizado con bloques de tosca extraídos del entorno







Figura 70. Canal que circunvala la zona de la Vega Lagunera colindante con el casco histórico Derecha superior: acceso al «canal». Derecha inferior: al fondo, exclusas de cierre del «canal» (CIATF)



Figura 71. Pasarela en la desembocadura del bco. del Cercado en San Andrés - Santa Cruz (CIATF)





Figura 72. Tramo final del barranco de en Santa Cruz (CIATF)
A su paso por el TEA y por el Museo de la Naturaleza y Arqueológico del Hombre

En el primitivo tramo encauzado del barranco de Guía a su paso por el casco histórico del municipio de Guía de Isora se llevaron a cabo, por parte del CIATF, obras que mejoraron tanto la hidráulica del barranco como el entorno medioambiental. El piso natural se sustituyó por solera artificial, enterrando bajo ésta las tuberías que ocupaban parte del cauce.

ANTES



DESPUÉS



Figura 73. El barranco de Guía discurriendo por el casco histórico de Guía de Isora (CIATF)



Figura 74. Puente apoyado en los basaltos que encauzan de forma natural un barranco (CIATF) Visto desde aguas arriba y desde aguas abajo



Figura 75. Cuña artificial en la confluencia de los bcos. de Valle Grande y Valle Brosque (CIATF)



Figura 76. Antigua presa reconvertida en dique de retención de acarreos en el bco. de Valle Grande



Figura 77. Encauzamiento del bco. de Chayofa en La Caleta de Güimar (URBEING). Protegido y aislado respecto de los peatonales que discurren por ambas márgenes.



Figura 78. Barranco de La Vica discurriendo al pie de la balsa de Trevejos, en Vilaflor Derecha: Cauce entre muretes de bancales de cultivo en Anaga (CIATF)



Figura 79. ODT en la autopista TF-1 con acceso a cauce y pasarela peatonal (CIATF)

En algún caso, el «hormigón» no desentona necesariamente con el entorno



Figura 80. Encauzamiento del barranco de San Andrés bajo una vía (CIATF)



Figura 81. Encauzamiento del barranco de Las Huertas discurriendo «campo a través» (CIATF)



Figura 82. Encauzamiento del barranco de Guía discurriendo entre fincas de cultivo (CIATF)

CAPÍTULO VI
LOS TEMPORALES DE LLUVIA Y SUS EFECTOS SOBRE LA RED DE DRENAJE TERRITORIAL

VI.1. DE LA GESTIÓN Y CONTROL DE ESTOS EVENTOS

En Tenerife no son inusuales los fenómenos tormentosos con lluvias torrenciales que, en algunos barrancos, generan riadas en las que el volumen de materiales sólidos llega a ser casi equivalente al de la escorrentía líquida. En estas últimas décadas nos hemos acostumbrado a contemplar cada cierto número de años:

- El **desbordamiento** de las escorrentías fuera de los cauces de los barrancos dando lugar a:
  - La invasión de viales, con consecuencias para el tráfico rodado
  - Inundaciones de locales, bajos de edificios, garajes,…
- El **aterramiento** de encauzamientos, reduciendo sus secciones hidráulicas.
- La **obstrucción** total o parcial **de las obras de drenaje transversal** por arrastres sólidos, dando lugar **a desbordamientos** con las mismas consecuencias que cuando se originan en los cauces.
- Las **escorrentías de ladera**, devastando terrenos e inundando viales.



Figura 83. Invasión de vial; aterramiento de canalización y obra de drenaje tupida por escombros

Sin ajustarse a una periodicidad concreta, los temporales de lluvia no han dejado de hacer acto de presencia en la isla, al menos, en los pasados cinco siglos. Sucede que durante las últimas décadas parece que tales eventos se han hecho más frecuentes, ocasionando daños materiales y, en algún caso, la pérdida de vidas humanas.

Para evitar o al menos minimizar tales «accidentes» es preciso:

1. Profundizar en el conocimiento del fenómeno meteorológico.
2. Adoptar medidas preventivas que alerten a todos, tanto a la administración como a la población en general.
3. Implementar medidas estructurales que garanticen el drenaje de las riadas.

La adopción de «remedios» estructurales es una labor que viene haciéndose desde inicios de los años noventa del pasado siglo. Hasta esas fechas, en el proceso de incorporación de los barrancos al medio urbano fueron determinantes dos circunstancias principales:

1ª. La expansión urbano-turística que dio lugar a un **acelerado incremento de suelo urbano.**

2ª. Una **normativa insuficiente.**

El obstáculo que suponían los barrancos se solucionaba encajando en su interior obras civiles dimensionadas en base a una normativa que evidenciaba sus limitaciones cuando una riada las desbordaba.

En el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla la Ley 12/1990 de Aguas para Canarias y más adelante en la Normativa del PHT se establecen una serie de reglas y requerimientos, consecuentes todas ellos con un objetivo: minimizar el **riesgo hidráulico**.

Desde tales fechas, han sido numerosas las actuaciones llevadas a cabo por particulares colindantes con el cauce de un barranco, o incluso por las distintas Administraciones insulares que, en el desarrollo de su actividad, han necesitado interferir la red de drenaje natural o artificial. En ambos casos, la «obra» a realizar en entorno de barranco debía atenerse a la normativa vigente, garantizándose así el correcto desagüe de las riadas. Ahora bien, también han sido varias las infraestructuras que, ejecutadas «legalmente» décadas atrás, ha habido que regenerarlas hidráulicamente con determinadas medidas complementarias –o incluso reconstruirlas totalmente– para adecuarlas a las exigencias actuales.

El proyecto de construcción de las infraestructuras hidráulicas correctoras se redacta en base a los informes de «propuestas de actuación» una vez evacuados los correspondientes informes descriptivos de la tormenta y de los daños ocasionados. Si éstos han sido relevantes y han dado lugar a reclamaciones patrimoniales o expedientes sancionadores, dichos informes suelen ser relativamente complejos pues no basta con la deducción de los caudales máximos de avenida a partir de la Guía Metodologíca (GM); se complementan con:

✓ La descripción detallada del evento, en la que no debe faltar:
- Un exhaustivo análisis pluviométrico que contemple la magnitud del aguacero (cantidad de agua caída) y su intensidad (lluvia por unidad de tiempo).
- La definición de la tormenta en el espacio (mapas de isomáximas) y en el tiempo (hidrogramas).
- Su representación evolutiva espacio-tiempo a partir del denominado Módulo Gestor de Tormentas (MGT).

✓ La evaluación de las escorrentías líquidas y sólidas.

- ✓ Los cálculos hidráulicos.
- ✓ El diagnóstico de lo ocurrido.
- ✓ Los daños ocasionados por el temporal.

Como recién comentamos, estos últimos son parte determinante en las propuestas de actuación que dan lugar a las obras hidráulicas que deben corregir las posibles irregularidades en la red de drenaje, si las hubo; las cuales se ponen de manifiesto a raíz del suceso del temporal.

Ahora bien, las indeseables consecuencias del paso de las riadas no solo se deben a la magnitud de la tormenta. Las precarias condiciones hidráulicas de ciertos cauces, resultantes de la ocupación –casi siempre urbana– de sus márgenes, no dieron más opción para su regeneración que la de aislarlos de su entorno mediante canalizaciones, generalmente cubiertas y enterradas. Al respecto, debe hacerse constar que tales actuaciones de «respuesta» –pero también preventivas respecto de nuevos eventos– no se han limitado en el tiempo al suceso de los temporales y en el espacio al de las zonas afectadas, sino que han tenido y siguen teniendo continuidad y más participación territorial con las obras hidráulicas que se han venido y se vienen ejecutando tanto por el CIATF como por las Administraciones e incluso por particulares, siempre bajo la tutela de aquel.

Que mejor manera de ofrecer una muestra de estas obras hidráulicas –complementando a las ofrecidas en los capítulos precedentes– que hacerlo en paralelo a la descripción de algunos de los temporales que visitaron la isla los últimos cien años; previa referencia a los dos históricos recordados con mayor frecuencia.

VI.2. DOS TEMPORALES HISTÓRICOS

Aunque hasta finales del siglo XIX no se dispone de datos registrados de precipitación de agua en la isla[3], a través de documentos históricos y crónicas oficiales se tienen noticias de sucesos de temporales extraordinarios que causaron cuantiosos daños materiales y por desgracia en algunos de ellos la pérdida de vidas humanas.

Hacemos una sucinta referencia a los dos que tuvieron más trágicas consecuencias.

VI.2.1. el «Aluvión de San Dámaso» del día 11 de diciembre de 1645

Un temporal de lluvias tuvo su foco más violento sobre las cumbres del pueblo de Garachico dando lugar a un aluvión que en su recorrido hasta el mar arruinó más de 80 casas y ocasionó la muerte de más de 100 personas. Además, destrozó y hundió varias decenas de embarcaciones que se encontraban ancladas en el puerto.

[3] La primera estación pluviométrica se instaló en el Instituto de La Laguna en el año 1868

VI.2.2. el temporal de lluvias de los días 7 y 8 de noviembre de 1826

Está considerado como el más trágico y devastador de cuantos se tienen noticias en Canarias. Afectó, especialmente, al Valle de La Orotava donde las aguas de escorrentía desbordaron fuera de los barrancos arrastrando viviendas, enseres, animales y por desgracia cobrándose la vida de cerca de 300 personas. En el Puerto de la Cruz el canal del que se surtía el pueblo para su abasto quedó destruido en su totalidad.



Figura 84. Plano del Puerto de la Cruz suscrito por su Alcalde Real en 1828.
Leyenda: *Todo lo coloreado en azul demarca los Barrancos y lo que estos inudaron y arrasaron la noche del 7 al 8 de Noviembre de 1826…* y esta señal todas las casas que se llevó…*
Autor: José Agustín Alvarez Rixo

En el Valle de Güimar también se ensañó el temporal:

En la zona de Candelaria las aguas torrenciales,…, batieron contra el convento de los dominicos, invadieron la capilla de la Virgen y se llevaron la imagen de la patrona venerada por los isleños. El Castillete de Candelaria, situado frente al convento, no sirvió de dique que contuviera el ímpetu del torrente…. Un sargento de artillería, desdichado guardián de ese fortín aislado pereció con toda su familia: fue en vano que pidiera ayuda tocando la campana de alarma

o de misericordia…Nadie se atrevió a cruzar el barranco, y la campana de rebato del convento respondió doblando a muerto. Es posible que en sus últimos momentos el infortunado guardián implorara el auxilio de la milagrosa Virgen que ahora compartía su destino. (Sabin Berthelot)

El párrafo precedente forma parte de una de las descripciones más emotivas del suceso. En la que hizo el cónsul británico Francis Coleman Mac Gregor, se aportan también datos objetivos de la tragedia[4]:

…En suma fueron considerables los daños, ya que resultaron destruidos edificios, puentes, conducciones de agua, campos y plantaciones, y se ahogaron muchas cabezas de ganado, calculándose una pérdida de entre 175.000 y 200.000 libras esterlinas. Doscientas cincuenta y tres personas perdieron la vida en las riadas y seis grandes barcos, de los que van a América, naufragaron al chocar contra las rocas de la costa…

La tabla siguiente, elaborada por las autoridades, proporciona un resumen de las pérdidas que sufrieron los distintos municipios de la isla de Tenerife

Comarca	*Municipio*	*Abogados*	*Cabezas de ganado*	*Casas destruidas*	*Valor daños*
Norte	*La Orotava*	*104*	*591*	*219*	*125.000 Libras*
	Pto. de la Cruz	*32*	*23*	*37*	
	Los Realejos	*39*	*344*	*50*	
Oeste	*La Guancha*	*52*	*344*	*103*	
	S. J. Rambla	*10*	*13*	*14*	
	Icod	*5*	*38*	*-*	
Noroeste	*La Laguna y alrededores*	*3*	*58*	*-*	*20.000*
Este	*Santa Cruz*			*107*	*30.000 Libras*
	Güimar, Arafo Y Candelaria	*8*	*109*	*17*	
Totales		***253***	***1176***	***651***	***175.000***

José Bethencourt y Pedro Dorta[5] aportaron recientemente cifras aún más altas de las pérdidas humanas: **298** en total, algunas pertenecientes a los municipios de Arico (4), Santa Cruz (9) y Santa Úrsula (1) no reflejadas en el cuadro precedente.

[4] Extracto de LAS ISLAS CANARIAS, SEGÚN SU ESTADO ACTUAL Y CON ESPECIAL REFERENCIA A LA TOPOGRAFÍA, INDUSTRIA, COMERCIO Y COSTUMBRES (1831) Por Francis Coleman Mac Gregor. Traducción y versión de José J. Batista Rodríguez (Centro de la Cultura Popular Canaria). 2005.

[5] THE STORM OF NOVEMBER 1826 IN THE CANARY ISLANDS: POSSIBLY A TROPICAL CYCLONE?. José Bethencourt-González y Pedro Dorta-Antequera - 2010

VI.3. EL TEMPORAL DE DICIEMBRE DE 1922



Figura 85. La riada rebasó el puente del Cabo, dañando la margen derecha del bco de Santos.

VI.3.1. El suceso: descripción y consecuencias

Luis Cola Benitez trae a las páginas de su libro «Los barrancos de Añazo» algunos apuntes de la tormenta extraídos de los periódicos La Gaceta de Tenerife, El Progreso, La Prensa así como del ARCHIVO del AYUNTAMIENTO de S/C:

…el día 1 de diciembre la ciudad sufre un nuevo temporal de lluvias, y el aluvión que se produce vuelve a causar daños a lo largo de los barrancos.

El barranquillo (del Aceite) *reventó a la altura de Méndez Núñez, junto a la plaza de Weyler. Más arriba se desbordó y produjo graves daños en los terrenos de Oliver y en la finca Bellamy y, en su tramo inferior, la calle Imeldo Serís resultó abierta en canal y varias viviendas sufrieron el hundimiento de sus pisos. El barranquillo de San Francisco ocasionó daños en la zona del Pilar, donde las aguas alcanzaron más de medio metro de altura, y produjo desperfectos en el Parque Recreativo. Reventó la alcantarilla de la calle del Tigre y en la de la Marina se inundaron varias casas hasta más de un metro. Lo mismo ocurrió en el de San Antonio,. … el barranco del Hierro destruyó puentes de la carretera del nuevo cementerio.*

Como es natural, los efectos en el barranco de Santos fueron los de más graves consecuencias. Las aguas pasaron sobre el puente del Cabo, volvieron a inundar la Iglesia de la Concepción, la Vera del Barranco y la Noria, y destruyeron murallones laterales de aquella zona.

VI.3.2. Medidas estructurales correctoras

A lo largo del siglo diecinueve los tres «barranquillos» tuvieron que afrontar los embates de las riadas originadas por, al menos, ocho temporales de lluvia (uno cada doce años). No siempre la reconstrucción tuvo la inmediatez deseada. Sin embargo, en esta ocasión iba a ser diferente; así lo comenta Cola Benitez:

En esos fecundos años, después de haberse madurado durante más de treinta años, se aprueba, por fin, el proyecto definitivo de desviación del barranquillo del Aceite… Eso ocurría en 1926 y, cuatro años después, se comienzan los trabajos cuya liquidación definitiva recibe el Ayuntamiento en 1933

VI.4. EL TEMPORAL DE MAYO DE 1944

VI.4.1. El suceso: descripción y consecuencias

El día 4 de mayo de 1944 casi toda la vertiente septentrional de la isla –entre Garachico y la península de Anaga– se vio sorprendida por un temporal de lluvia que sin ser excesivamente copioso –el mayor registro de lluvia en 24 horas apenas superó los 100 L/m^2– fue muy intenso pues descargó en muy poco tiempo[6].

…ayer tarde, dominando el tiempo del norte o nordeste, se presentó poco después de las ocho una gran tormenta de agua, pedrisco, viento, truenos y relámpagos que, por lo menos en 23 años, no se ha registrado aquí, y desde luego en este mes…no se ha producido desde tiempos remotos. Durante una hora más o menos estuvo lloviendo a cántaros… (Periódico EL DÍA de 05/05/1944).



Figura 86. *La calle* de «Juan de Vera» *ya no es calle que es un río*…. (¿?)
Las marcas en las paredes de los edificios denuncian la altura que alcanzó la riada. (Fte: ilegible)

[6] La incipiente red de control climatológico del antiguo Instituto Nacional de meteorología (INM) apenas contaba por aquellas fechas con quince estaciones pluviométricas.

La repentina tromba de agua generó en las cumbres de Las Mercedes (La Laguna) y en las de La Esperanza así como en el propio casco urbano lagunero imponentes riadas que desbordaron de los cauces naturales (La Carnicería, Chamarta, Los Rodeos) que cruzan el mencionado municipio, llegando incluso a reproducir nuevas vías de drenaje. En La Laguna hubo inundaciones y las riadas arrastraron viviendas y animales.

En Santa Cruz, quedaron en una completa indigencia más de ochenta familias del valle de Tahodio y del Barranco de Santos. Este se desbordó cerca de su desembocadura, así como casi todos los que surcan los valles de Anaga donde hubo que lamentar no solo incontables pérdidas materiales sino también la vida de tres niños de entre 9 y 14 años que fueron arrastrados por las riadas

VI.5. TEMPORAL DE NOVIEMBRE DE 1950

VI.5.1. El suceso: descripción y consecuencias

El temporal afectó a gran parte del norte de la isla causando grandísimos daños materiales en Garachico o en La Laguna cuya Vega quedó completamente inundada. En general, en toda la isla el temporal *dejó a miles de personas sin hogar, más de cien millones de pesetas en pérdidas y dos víctimas mortales en el municipio de Tacoronte.* (Periódico EL DÍA de 11/11/1950).

La tormenta descargó, sobre todo, en la cabecera de dos cuencas principales del Valle de Güimar: la del barranco de Badajoz y la del Fregenal. En concreto, el día 11 de noviembre de 1950 se midieron en la estación meteorológica de Izaña –localizada por encima de ambas cuencas– **360** L/m². Fue una lluvia extraordinaria que dio lugar a grandes volúmenes de escorrentía líquida y sólida, máxime si se tiene en cuenta que unos días antes (8 y 9) la misma estación había registrado 200 L/m² y 124 L/m² respectivamente; es decir, cuando descargó el temporal del día 11 «llovió sobre mojado». Gran parte de la lluvia devino en la escorrentía líquida que, junto con los aportes sólidos, circularon desbordadas de sus cauces hasta alcanzar el mar. El volumen total de aportación de escorrentía (líquida + sólida) generada ese día se estima que debió aproximarse a los **dos millones** de metros cúbicos.

Tal volumen de arrastres, además de provocar el desbordamiento del puente de Guaza, arrasó en su descenso con buena parte de la superficie de cultivo del Valle. La figura adjunta (fragmento del vuelo fotogramétrico realizado pocos años después del suceso) pone de manifiesto la magnitud de los daños que ocasionó la riada.

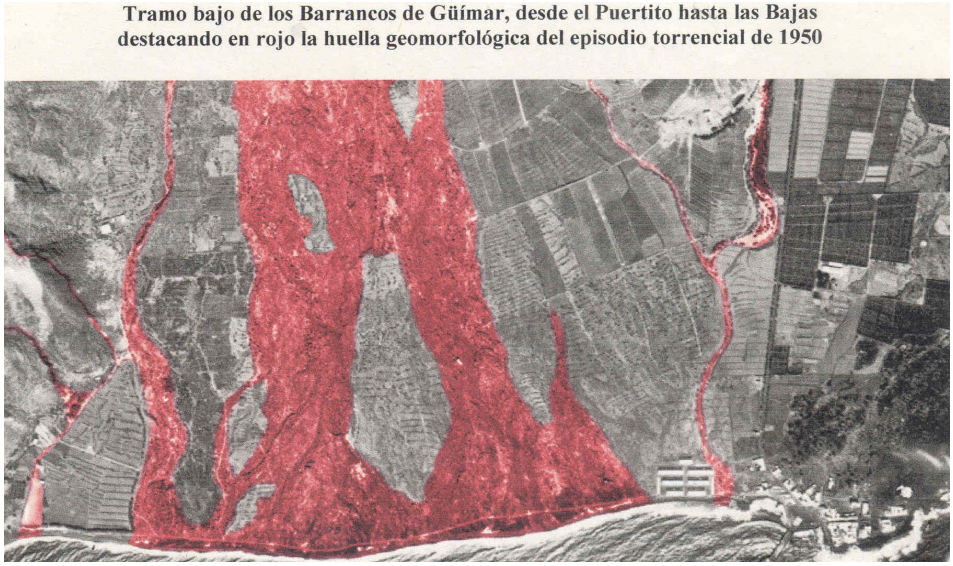


Figura 87. Huellas de la avenida de noviembre de 1950.
Documento aportado al CIATF por la Asociación para la defensa de los barrancos de Güímar «Saturnino García»

VI.5.2. Medidas estructurales correctoras



Figura 88. Obras de paso y/o de drenaje transversal en la autopista TF-1 (Google)

Años más tarde, en el proyecto de construcción de la autopista del sur se contemplaron hasta 15 obras de paso y/o de drenaje en el trayecto de la vía por el Valle de Güimar, evitando el posible efecto barrera frente a las escorrentías.

VI.6. TEMPORAL DE NOVIEMBRE DE 1968

VI.6.1. El suceso: descripción y consecuencias

El temporal afectó a todas las islas, pero especialmente funestas fueron sus consecuencias en el Valle de La Orotava donde las lluvias vinieron acompañadas de fuertes vientos, ocasionando ambos fenómenos cuantiosos daños materiales. Además la torrencialidad de las escorrentías dio lugar a sobreelevaciones del nivel de agua en los cauces de los barrancos; una de ellas llegó a cobrarse la vida de una persona.

El temporal se concentró en dos núcleos principales. Uno de ellos fue el Valle de Ucanca y el otro entre la cumbre y las faldas septentrionales de la montaña de Izaña. En el Puerto de la Cruz se desbordaron los barrancos de Martiánez y el de San Felipe causando importantes daños materiales, especialmente en las márgenes del segundo donde la riada arrasó varias viviendas.

VI.6.2. Medidas estructurales correctoras

El 2 de febrero de 2008 José R. Peraza Hernández traía a las páginas del periódico El Día[7] el recuerdo de tan trágico evento; en el texto se incluía el acuerdo adoptado por el Ayuntamiento del Puerto de la Cruz relativo a las actuaciones emprendidas para averiguar las causas de los daños generadas por la riada y disponer de los medios que evitaran su ocurrencia con temporales de lluvia similares:

… en primer lugar desde el ángulo urbanístico, efectuar el estudio de una ordenación general y definitiva de todo el término municipal, encargándose de su contenido el Ministerio de la Vivienda, que aportará el 90 por 100 del importe de estos trabajos; por parte de la Dirección General de Obras Hidráulicas, se decidió llevar a cabo con carácter de urgencia la redacción del proyecto para el ***encauzamiento del Barranco de San Felipe****, cuyo presupuesto se calcula en unos treinta millones de pesetas*



Figura 89. Encauzamiento del barranco de San Felipe a su paso por el CC «Las Pirámides» (CIATF)

[7] «Un amargo 25 de noviembre de 1968»; así titulaba su artículo José R. Peraza Hernández

VI.7. TEMPORAL DE ABRIL DE 1977

VI.7.1. El suceso: descripción y consecuencias

Este temporal coincidió con la Semana Santa de ese año. Aunque afectó a todas las islas, produjo sus descargas más importantes en la de Tenerife.

En el municipio de Vilaflor se recogieron **359** L/m² en un sólo día. En la mitad inferior del Valle de Güimar la lluvia recibida entre el día 10 y el 11 del mes de referencia superó los **400** L/m². En la estación climatológica del Aereopuerto de Los Rodeos se midieron más de **450** L/m² en ese mismo lapso de tiempo.

El desbordamiento de los barrancos inundó la Vega Lagunera y anegó de agua y lodo todo el casco histórico de La Laguna. En la vertiente norte de este municipio las denominadas escorrentías de ladera, conformadas por varias decenas de miles de metros cúbicos de material sólido, vertieron directamente sobre el núcleo turístico de Bajamar, varias de cuyas calles quedaron colmatadas de escombros.



Figura 90. La Vega Lagunera inundada y calle en Bajamar invadida por los escombros de la riada. (Fuente: Tagoror Meteorológico de Canarias-Internet)

VI.7.2. Medidas estructurales correctoras



Figura 91. Canalizaciones que discurren por el interior y los contornos de la Vega Lagunera. A raiz del suceso de abril de 1977 el drenaje de la Vega se lleva a cabo a través de varias arterias de drenaje cuyas escorrentías acaban confluyendo en la cabecera del barranco de La Carnicería.

VI.8. TEMPORAL DE MARZO DE 2002

VI.8.1. El suceso: descripción

En marzo de 2002 hubo tres sucesos lluviosos con características similares pero afectando a varias zonas con muy distinta intensidad y, sobre todo, con desiguales repercusiones en unas y otras.

1. El primero de ellos, localizado en el norte y justo en el centro de la isla, ocurrió entre los días 12 y 13 afectando principalmente al Valle de La Orotava.
2. El segundo tuvo lugar entre los días 26 y 27 afectando principalmente al Valle de Güimar, en el sur. En algunos puntos los registros de lluvia conjuntos de esos dos días superaron los 200 L/m^2.
3. El evento que justifica la redacción de este apartado ocurrió el día 31.

En la tarde del **31 de marzo del año 2002** descargó sobre la ciudad de Santa Cruz y el litoral de Anaga una tormenta excepcionalmente intensa. La tromba de agua generó caudalosas riadas que desbordaron fuera de algunos de los cauces de la zona. Hubo que lamentar la muerte de ocho personas y cuantiosos daños materiales. Después del suceso del 7 de noviembre de 1826 ninguna tormenta había causado tantos daños personales y materiales en esta isla como ésta del 31 de marzo de 2002.

La lluvia se concentró en la parte baja de la conurbación capitalina (con un máximo registrado en la estación de Urbanización Anaga de 252 mm) y en la banda costera (con registros de 225 mm en varios puntos). Además, lo más significativo fue el mantenimiento de una intensidad de precipitación muy elevada y casi constante durante una hora. Fue, por tanto, un fenómeno realmente extraordinario del que también cabe destacar que las mayores precipitaciones se registraran por debajo de la cota 300 metros, habiendo quedado la zona de cumbre ajena al formidable suceso que acontecía por debajo[8].

---

[8] De esta tormenta el Instituto Nacional de Meteorología (INM) divulgó a través de su página web un amplio estudio técnico describiendo las causas de la misma y su evolución:
"...Las lluvias torrenciales que afectaron a la ciudad de Santa Cruz de Tenerife fueron producidas por focos convectivos con unas características especiales...."
"...Al mismo tiempo, fueron muy eficientes desde el punto de vista de la precipitación presentando, posiblemente, ecos más intensos de los que detectaba el radar..."
"...El carácter anómalo de estos ecos queda claro cuando se comparan con otros focos convectivos que afectaron a otras zonas del archipiélago. Mientras estos últimos se desplazaban rápidamente de SW a NE a la vez que se movían en bloque hacia el este, los primeros fueron cuasiestacionarios , e incluso mostraron un movimiento retrógrado, al tiempo que los valores de reflectividad asociados a la intensidad de precipitación fueron más intensos que el resto..."
En el documento elaborado también por el INM: "Situación de lluvias torrenciales de Tenerife (31 de marzo de 2002)" se señalan como características principales:
Mayor intensidad horaria de las registradas desde 1943
Mayor persistencia de la elevada intensidad horaria, también desde 1943
Asimismo, como resumen del estudio fenomenológico, concluye con lo siguiente:
Que la precipitación ocurrida el día 31 de marzo fue excepcionalmente intensa y duradera, pues la intensidad de la precipitación superó los 60 mm/h continuamente durante una hora y durante 50 minutos superó los 100 mm/h; y fue excepcionalmente cuantiosa, alcanzándose la precipitación media anual en tan solo dos horas y media.
En el resto de los Observatorios de las islas se han registrado en el pasado precipitaciones muy importantes, superándose los 200 litros por metro cuadrado en 24 horas. Sin embargo, los episodios analizados muestran que en ningún caso la intensidad fue tan fuerte ni duradera como en el episodio del 31 de marzo de 2.002.

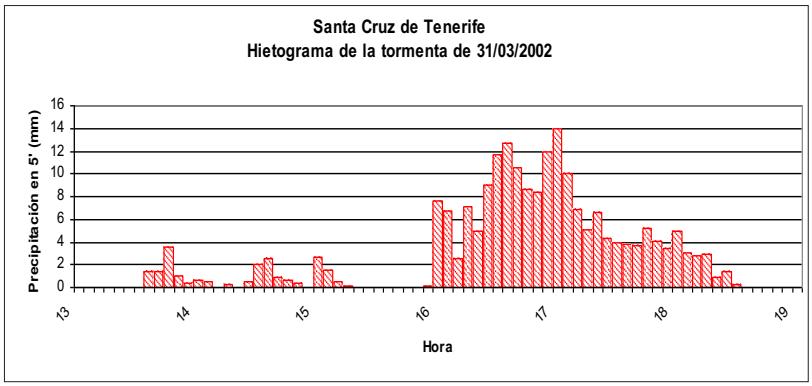


Figura 92. Hietograma de la lluvia registrada en el pluviógrafo de Sta. Cruz (CIATF).

El núcleo de mayor precipitación e intensidad se localizó en la franja comprendida entre la urbanización Anaga y el barrio de San Andrés afectando a un total de 12 cuencas hidrográficas, pero de forma desigual. En los barrancos de cumbre sólo se vio afectado el tercio inferior de su cuenca vertiente. Por el contrario todas las cuencas de medianías o costeras recibieron la tormenta en toda su superficie (Figura adjunta).

Se dio pues la paradoja de que los cauces de menores dimensiones recibieron volúmenes de escorrentía sólidas similares a los que circularon por los barrancos de cumbre.

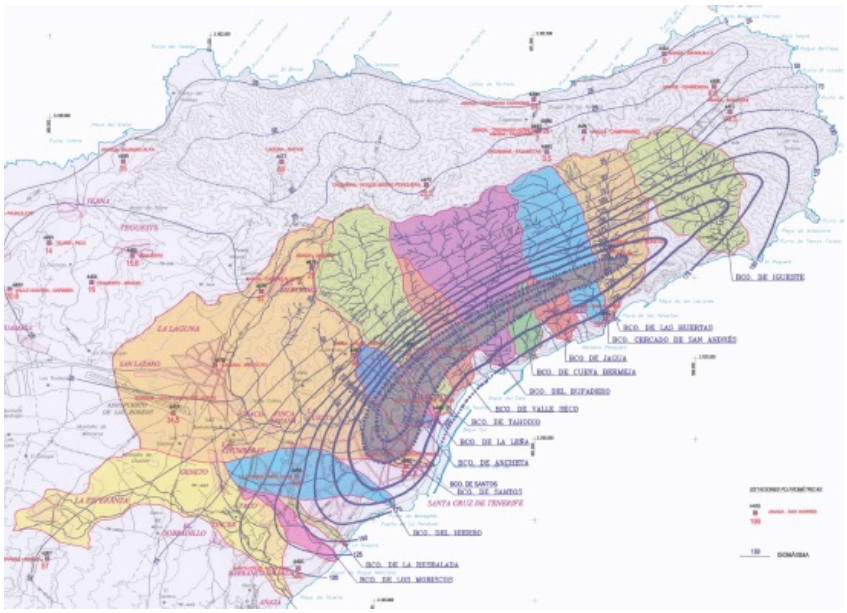


Figura 93. Mapa –elaborado en el CIATF– de isolíneas de precipitación del temporal del 31 de marzo de 2002 y cuencas hidrográficas afectadas.

VI.8.2. Afecciones hidrológicas y estructurales

En el entorno de los barrancos las infraestructuras dañadas lo fueron principalmente como consecuencia del transporte masivo y descontrolado de los materiales sólidos que acompañaron a las riadas.



Figura 94. Arrastres sólidos acumulados en la subcuenca inferior del barranco de La Leña (CIATF) Representaron más del 50% de la escorrentía líquida generada dentro de dicha subcuenca. Parte de los escombros que desbordaron del cauce o que no llegaron a él irrumpieron por la puerta de la finca Fumero invadiendo los viales; los que discurrieron por el cauce taponaron la obra de paso.



Figura 95. Pasarela peatonal sobre el barranco de el Bufadero desbordada por las escorrentías. Una vez que disminuyó el caudal punta de la riada quedó a la vista la pasarela que, despojada de su barandilla, fue receptora de uno de los vehículos arrastrados por la riada .

Fueron varios los barrancos capitalinos que desbordaron fuera del cauce (barranco del Aceite, de Casalón, de Ifara, de la Ninfa, de la Leña...) ocasionando daños en viales y bajos de edificios.

VI.8.3. Medidas estructurales correctoras



Figura 96. Encauzamiento del barranco de Casalón en Santa Cruz (CIATF)

A partir de un acuerdo de colaboración entre el Cabildo Insular de Tenerife y el resto de las Administraciones se afrontó la reparación de los daños ocasionados por el temporal; acuerdo que se materializó en un Plan conjunto de actuaciones con el que se perseguía, además de reparar los daños, contribuir a la mejora de la red hidrográfica de la Comarca Metropolitana. Las principales actuaciones se llevaron a cabo por el Consejo Insular de Aguas complementadas con las que realizó el Área de Medio Ambiente del Cabildo Insular en el Parque Rural de Anaga y las que asumió el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife en el drenaje urbano.



Figura 97. Disipador de energía para salvar un desnivel de 15 metros en el bco. de El Hierro



Figura 98. Canalizaciones de barrancos complementadas con elementos reguladores del cauce

VI.9. TEMPORAL DE DICIEMBRE DE 2002

VI.9.1. El suceso: descripción

En diciembre de 2002 tuvieron lugar dos episodios lluviosos de consideración; ambos separados entre sí por varios días sin apenas precipitaciones. El día 12 un primer gran aguacero descargó sobre el costado suroccidental de la isla más de 90 l/m^2; posteriormente, entre la noche del 16 y el amanecer del 17 se produjo el segundo, recibiendo la zona más de 100 l/m^2.

Las lluvias se caracterizaron no solo por su cuantía sino también por su intensidad, dando lugar a la generación de aguas de escorrentía incluso sobre superficies poco proclives a este cometido. Fue bien significativo el imponente caudal de avenida que recorrió el barranco de Guía hasta su desembocadura en el mar[9].

[9] Aunque muy distanciados en el tiempo, los sucesos de lluvias torrenciales en las cumbres de Guía solían tener como consecuencia el desbordamiento de las escorrentías fuera del barranco a su paso por la plaza de Guía de Isora. Aún permanece en la memoria el que tuvo lugar el 1 de diciembre de 1899 pues, además de los consiguientes daños materiales, hubo que lamentar la muerte de varios vecinos del lugar.

VI.9.2. Afecciones hidrológicas y estructurales

El cauce de este barranco, a su paso por el casco urbano de Guía desbordó parte de las escorrentías debido a que su capacidad natural se encontraba sensiblemente reducida por los flejes de tuberías que ocupaban tanto las márgenes como el lecho. En localizaciones más bajas algunas fincas de cultivo sufrieron importantes daños.



Figura 99. Las escorrentías de diciembre de 2002 inundaron bancales de cultivo en el sur (CIATF)

VI.9.3. Medidas estructurales correctoras

De entre las obras «correctoras» llevadas a cabo por el CIATF destaca por su complejidad el encauzamiento del barranco de Guía a su paso por el casco histórico de Guía de Isora.

Las tuberías metálicas, que en gran número ocupaban las márgenes y el lecho del barranco reduciendo su capacidad hidráulica, se sustituyeron por conductos de polietileno que se enterraron en zanja excavada en el cauce; el cual fue tratado con solera artificial ejecutada con mampostería hormigonada.

Al comienzo de la operación el Ayuntamiento de Guía ya había iniciado la construcción del teatro–cine–auditorio municipal. Al final, la obra del Ayuntamiento, la del CIATF e incluso algún edificio colindante con el barranco, quedaron insertadas en un paisaje urbano común, muy distinto al primitivo; tal como se advierte en las siguientes imágenes y en las del apartado V.2 de este bloque.

Además, a partir de la fecha de su canalización, el barranco cuenta con capacidad hidráulica suficiente para desaguar caudales de avenida extraordinarios (T = 500 años).



Figura 100. El barranco de Guía aguas aguas abajo del teatro–cine–auditorio
Superior izquierda: el cauce antes de la obra de canalización. Al fondo el auditorio en obras.
Superior derecha: tuberías metálicas a sustituir por condutos de polietileno a enterrar en zanja
Inferior izquierda: ejecución de solera artificial una vez eliminadas las tuberías metálicas
Inferior derecha: la obra de canalización y el auditorio ya terminados. (CIATF)

VI.10. TEMPORAL DE ENERO DE 2007

VI.10.1. El suceso: descripción

A finales de enero de 2007 un intenso aguacero descargó especialmente sobre el Valle de Güimar ocasionando importantes daños materiales.

- ✓ En la estación pluviométrica de Izaña se midieron 145 L/m².
- ✓ Las mayores precipitaciones (**> 250** L/m²) se registraron en la zona de medianías del Valle de Güimar.
- ✓ En la cuenca del barranco de Badajoz se generaron cerca de 400.000 m³ de escorrentía líquida, además de un importante volumen de arrastres sólidos.

VI.10.2. Afecciones hidrológicas y estructurales

A las pocas horas del suceso las evidencias más significativas de la avenida eran:

1) El abatimiento del piso del cauce y el desmoronamiento de sus márgenes, con el consiguiente aislamiento de las parcelas de cultivo y viviendas.



Figura 101. Cauce del bco. de Badajoz y pared de la cantera El Badén abatidos con la riada (CIATF).

2) La desaparición del tramo de pista de Los Zarzales que cruzaba el barranco en forma de badén, dejando inhabilitada esta vía de comunicación.

3) El colapso de la pared superior de la cantera El Badén cuyos restos se mezclaban, en el interior de ésta, con los arrastres sólidos transportados por la riada.

VI.10.3. Medidas estructurales correctoras



Figura 102. Recuperación del tramo de cauce del bco. de Badajoz abatido por la riada (CIATF)

VI.11. TEMPORAL DE NOVIEMBRE DE 2009

VI.11.1. El suceso: descripción

En las primeras horas de la tarde del 16 de noviembre de 2009 las islas se vieron afectadas por la cola de una borrasca. La situación de atmósfera inestable, unida a la pronunciada orografía del Valle de la Orotava, favoreció la formación de células convectivas sobre el Valle y la **fijación** de la tormenta en él durante tres horas. Hubo varios picos de precipitación intensa: a las 15h y entre las 16,30 y las 17,20h la intensidad media horaria llegó a superar los **82** mm en 12 minutos. El núcleo tormentoso –más de 100 L/m^2– se concentró principalmente sobre el municipio de Los Realejos y la mitad occidental del de La Orotava; en altura afectó a la franja comprendida entre los 500 y los 600 m.s.n.m.

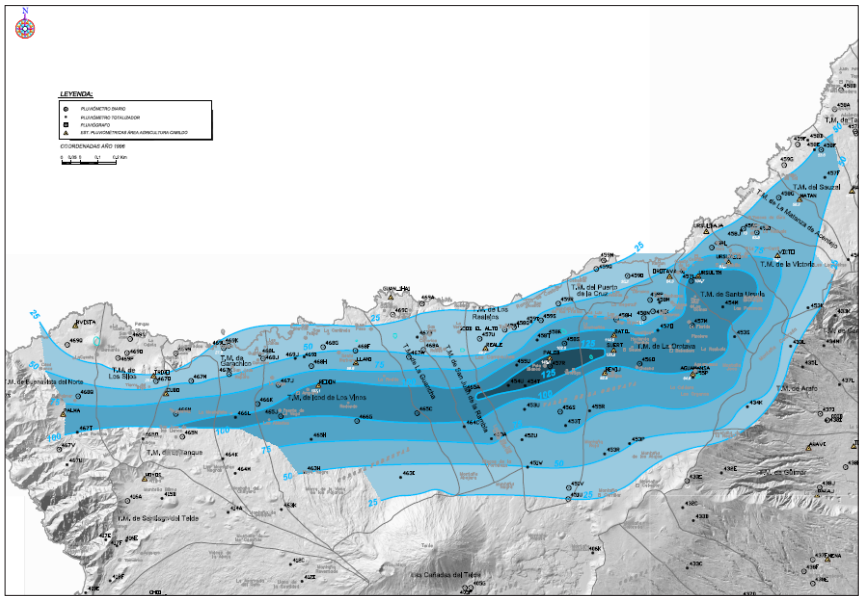


Figura 103. Mapa de isolíneas de precipitación del día 16 de noviembre de 2009. Fuente: CIATF

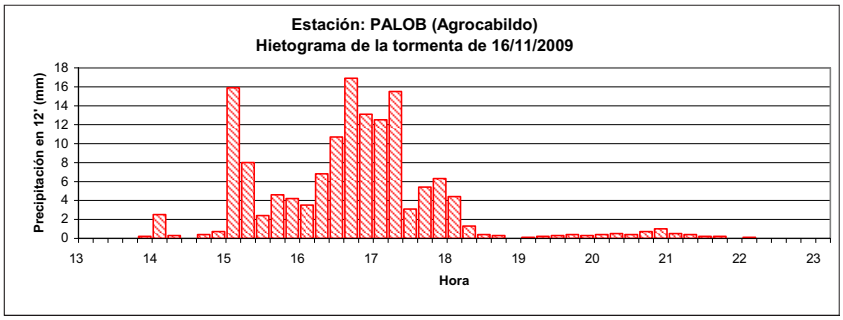


Figura 104. Hietograma en la estación meteorológica PALOB (Agrocabildo). Fte: CIATF

VI.11.2. Afecciones hidrológicas y estructurales

Las peores consecuencias tuvieron lugar en la zona baja, donde las lluvias y las escorrentías generadas desde las medianías, desbordaron los barrancos. En zonas próximas a la costa, como el Puerto de la Cruz, con una mayor concentración de asentamientos, infraestructuras y dotaciones sobre el territorio, se produjeron daños considerables. El fenómeno meteorológico adverso afectó a:

✓ infraestructuras hidráulicas naturales:
- desmoronamiento de márgenes de barrancos y de muros.
- arrastre y posterior sedimentación de acarreos.
- desbordamiento de barrancos (Fuente Vieja al de Las Candias).
- obstrucciones de cauce e invasión de viales por las escorrentías.



Figura 105. Las escorrentías de la riada de noviembre de 2009 socavaron lechos y hastiales (CIATF).

- ✓ elementos de canalización de cauces:
  - taponamiento de obras de paso en viales urbanos y carreteras.
  - desbordamiento y deterioros en badenes.



Figura 106. Los arrastres obstruyeron obras de drenaje transversal en en más de un vial (CIATF)

- ✓ infraestructuras artificiales tales como:
  - invasión de la balsa de Benijos por escorrentías líquidas y sólidas.
  - rotura del canal Rambla-Orotava.
  - roturas de conducciones y aparataje en redes de distribución urbana, de saneamiento y agrícola.



Figura 107. Balsa de Benijos invadida y deteriorada por las escorrentías (CIATF)

✓ infraestructuras varias como:
- invasión de viviendas.
- desmoronamiento de taludes en fincas de cultivo.
- abatimientos y hundimientos del firme en carreteras.



Figura 108. Viviendas inundadas y taludes desplomados con la riada de noviembre de 2009 (CIATF)



Figura 109**.** Viales destrozados tras la riada de noviembre de 2009 (CIATF)



Figura 110. Vehículos atrapados en los cauces entre arrastres de barranco (CIATF)

VI.12. TEMPORAL DE FEBRERO DE 2010



Figura 111. Imágenes del 1 de febrero de 2010 en Santa Cruz, Tabaiba y la autopista TF-1 (Internet) Se bastan por sí solas para describir las tremendas consecuencias de este suceso.

VI.12.1. El suceso: descripción

El día 1 de febrero de 2010, un temporal de lluvia recorrió de oeste a este la vertiente meridional de la isla. Sobre las 16:00 horas el grueso de la tormenta alcanzó el Área Metropolitana; las trombas de agua más copiosas e intensas (260 mm/24h y 24 mm/12 min) tuvieron lugar sobre dos núcleos principales: la mitad occidental de la cumbre de la península de Anaga y las medianías del municipio de El Rosario. La probabilidad de ocurrencia de este suceso se estimó de 1 vez en **370** años.

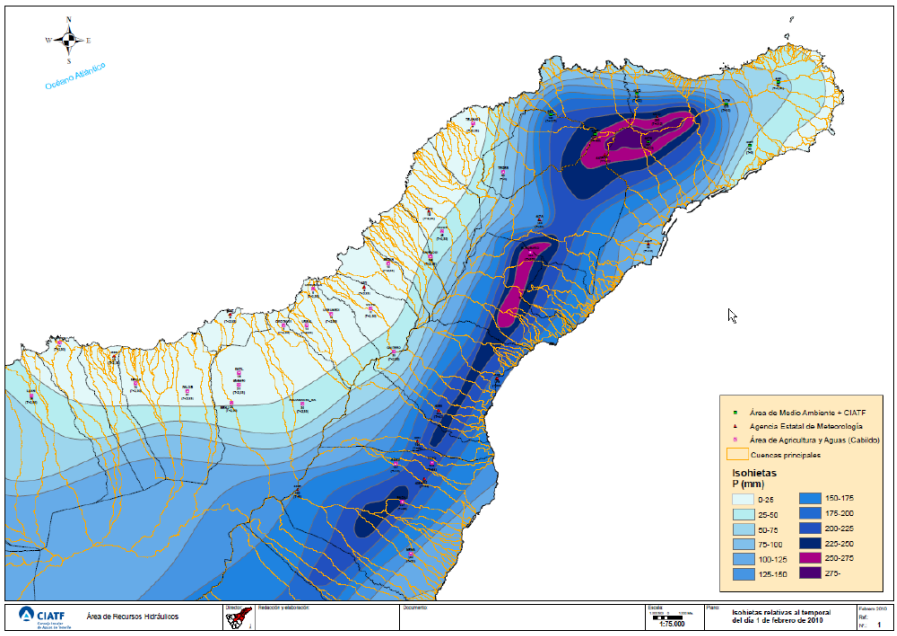


Figura 112. Mapa de isolíneas de precipitación del día 1 de febrero de 2010 (CIATF)

De los dos núcleos, el de Anaga fue, con diferencia, el que recibió mayores volúmenes de agua de lluvia. En la imagen se aprecia como el foco de la tormenta se concentró en la cabecera de la cuenca del barranco de El Bufadero, donde se generó el grueso de las escorrentías que invadieron el barrio de María Giménez.

VI.12.2. Afecciones hidrológicas y estructurales

La descarga de lluvia sobre la cumbre de Anaga y las consiguientes riadas afectaron gravemente a la red hidrográfica de la vertiente sur del área metropolitana; sobre todo a los tramos inferiores del barranco de Santos y del Bufadero donde las escorrentías desbordaron a la altura del puente de El Cabo en el primero y de una pasarela peatonal en el segundo, inundando viales y bajos de edificios.



Figura 113. Iglesia de La Concepción inundada y barranco de El Bufadero desbordado (Internet).

Las escorrentías generadas por el segundo foco de descarga –El Rosario– que llegaron a conectar con cauces de barranco discurrieron hasta el mar sin grandes incidencias destacables en su recorrido. Sin embargo, la mayor parte de las escorrentías que descendieron por los viales del Polígono Industrial de La Campana y el núcleo urbano residencial de Radazul Alta y Media no llegaron a acceder a las redes de pluviales locales y acabaron vertiendo sobre la plataforma de la autopista TF-1; tales escorrentías –denominadas de «ladera»– junto a las que, generadas en dicha plataforma, excedieron a la capacidad del sistema de drenaje de la vía tuvieron un fatídico final de recorrido: los viales de Tabaiba Baja por los que, además, ya venían descendiendo las del propio núcleo residencial y parte de las de Tabaiba Media y Alta cuyo caudal conjunto fue incapaz de acometer la red de alcantarillado local.

Lo más probable es que ninguna de las aportaciones reseñadas haya coincidido en el tiempo ni en el momento de su generación ni en el de su arribo a Tabaiba Baja. No obstante, en el peor de los casos, el caudal total que podría haber circulado por los viales de Tabaiba Baja podría haber sido de unos **39** m^3/s.



Figura 114. Escorrentías circulando por la calle principal del P. I. de La Campana. (Internet)
Derecha: escorrentías de ladera vertiendo sobre la plataforma de la autopista TF-1 (Internet)



Figura 115. Escorrentías descendiendo por las calles de Tabaiba Baja. (Internet)
La riada invadió los bajos de algunas edificaciones. En un edificio de apartamentos, agua y lodo desaguaron al exterior por las terrazas de algunos de ellos. (Internet)

VI.12.3. Medidas estructurales correctoras

Barranco de Santos | Barranco de El Bufadero



Figura 116. Puente del Cabo en el bco. de Santos y pasarela peatonal en el del Bufadero (CIATF)
Ambos fueron protagonistas destacados de los sucesos, en su entorno, del 1 de febrero de 2010
Ariba: cauces originales de ambos barrancos bajo las infraestructuras. Centro: desde las plataformas las escorrentías desbordaron hacia ambas márgenes, inundando viales y bajos de edificios.
Abajo: el nuevo puente y la nueva pasarela peatonal; ambas con mayor gálibo y sin pilas centrales



Figura 117. Cuenco de recogida de las escorrentías urbanas del Polígono de La Campana (CIATF).
Desde el cuenco vierten a una ODT de la TF-1 que comunica con el origen del barranco de Las Lisas

VI.13. TEMPORAL DE MARZO DE 2013

VI.13.1. El suceso: descripción

Nos servimos de algunas de las notas del informe elaborado en el CIATF al respecto de este «Fenómeno Adverso»:

Durante del primer fin de semana de marzo, el Archipiélago Canario quedó inmerso en el radio de acción de una potente borrasca, con centro situado al Este de las Islas Azores… En Tenerife comenzaron a notarse sus efectos,… con precipitaciones localmente intensas y persistentes, fuertes rachas de viento, así como por el mal estado de la mar y oleaje importante en la costa.

Las intensidades horarias de lluvia de esta tormenta se aproximaron al umbral correspondiente al nivel ***naranja*** *(30mm/h) que se había determinado para este fenómeno adverso, llegando a superarse en algunos emplazamientos del Sur de la Isla, como en Vilaflor, donde se recogieron 39 mm en una hora. En esta estación, ubicada en zona de cumbres del vértice Sur de la Isla, la lluvia acumulada en 12 horas superó el umbral de* ***100*** *mm. La tormenta del 3 de marzo de 2013 se puede categorizar como un fenómeno meteorológico adverso de tipo fuerte o muy fuerte.*

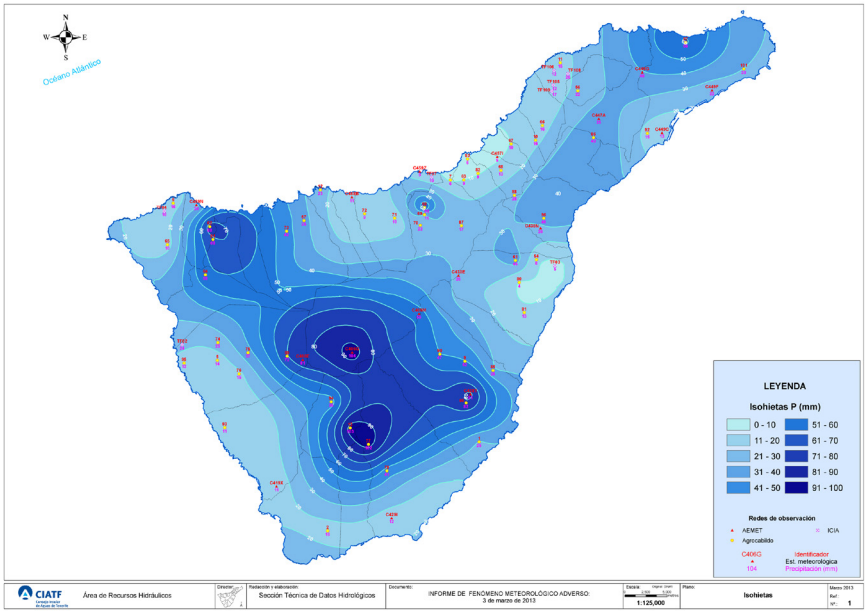


Figura 118. Mapa de isolíneas de precipitación del día 3 de marzo de 2013 (CIATF)
El ámbito espacial de la tormenta se extendió desde las áreas de cumbres de la dorsal NorOeste hasta zonas de medianías del SurEste.… se han visitado tramos encauzados en los que son visibles las marcas dejadas por el agua y los arrastres a su paso…se estima que el Fenómeno Meteorológico Adverso, generó una escorrentía en el barranco de Guía correspondiente a un período de retorno del orden de T = ***100*** *años.*

A partir de la huella de la riada en los cajeros de la canalización del barranco[10] se estimó que el caudal (líquido+sólido) llegó a alcanzar entre 75 y 85 m^3/s.



Figura 119. Escorrentías generadas por las lluvias del 3 de marzo de 2013 en el barranco de Guía. Por el tramo encauzado, dentro del casco histórico de Guía de Isora, discurrieron con normalidad. A su paso por Playa San Juan en el cruce con la carretera TF-6237 desbordaron por encima de la ODT.



Figura 120. Huellas de la riada de marzo de 2013 en la canalización del barranco de Guía (CIATF).

VI.13.2. Afecciones hidrológicas y estructurales

La agresividad del suceso se hizo sentir en las infraestructuras en contacto con el flujo de avenida que hubieron de ser reparadas.

- ✓ Desmoronamiento de márgenes en el cauce natural
- ✓ Invasión y ruina de bancales de cultivo
- ✓ Colapso y abalconamiento de los muros más antiguos de encauzamiento
- ✓ Soleras artificiales destrozadas
- ✓ Rotura de tuberías de transporte de agua tendidas sobre el cauce
- ✓ Badenes y tramos de viales inutilizados
- ✓ Inundación por las escorrentías de los bajos de edificios
- ✓ Vehículos arrastrados al mar

[10] La recuperación de su capacidad hidráulica mediante esta obra de canalización, promovida por el CIATF, permitió que la «torrentada» de marzo de 2013 atravesara el pueblo sin incidencias.



Figura 121. Daños en viales, fincas, cauces y viviendas con la riada de marzo de 2013. (CIATF)

VI.14. TEMPORALES DE DICIEMBRE DE 2013

VI.14.1. Los sucesos: descripción

Durante mes de diciembre de 2013 alcanzaron el Archipiélago tres borrascas escalonadas con apenas cinco días de distanciamiento entre ellas; las tres afectaron a Tenerife. Con la segunda los registros de lluvia no fueron excesivamente altos (<60mm/día). Por el contrario, la primera y la tercera generaron lluvias considerables en varios lugares; no obstante, ambas fueron de características distintas.

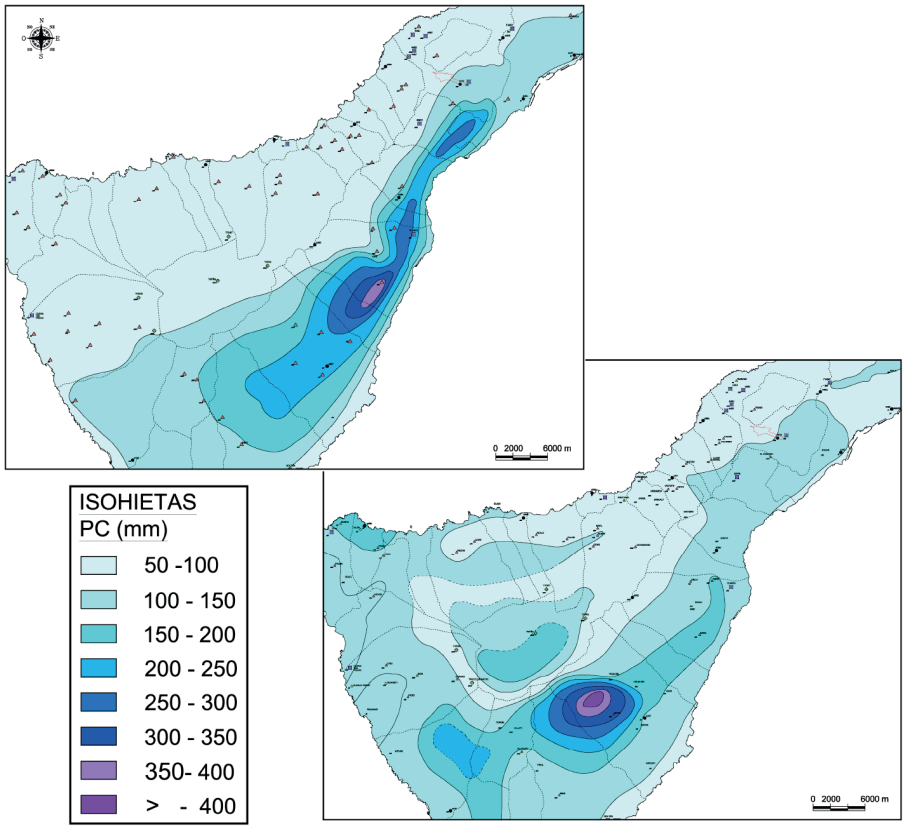


Figura 122. Mapas de isoyetas de los temporales de los días 2/12/2013 y 11/12/2013

✓ Con respecto a su distribución en el tiempo:

1. La primera concentró su actividad prácticamente en un solo día.
2. En la tercera, la lluvia se repartió al menos en tres días; aunque uno de ellos, el día 11, destacó respecto de los otros dos.

✓ En cuanto al reparto territorial de la lluvia

1. La ocurrida el día 2 descargó sobre todo entre El Rosario y Arico y dentro de esta banda, en la zona de El Escobonal sobre la cota 500m.

2. La ocurrida entre el 10 y el 12 afectó a toda la isla de costa a cumbre; incluso Las Cañadas de El Teide recibieron cantidades de lluvia superiores a 100 mm en un solo día.

✓ En relación con los máximos registros de lluvia

1. Dentro de la zona más afectada, en la estación de MENA se midieron **305** mm de lluvia y en la de TOPO NEGRO **194** mm.
2. El día 11 en dos de estaciones de registros diarios, localizadas una en El Tanque y la otra en Arico, se midieron algo más **180** L/m^2 de lluvia. No obstante, las mayores precipitaciones de ese día debieron registrarse en las inmediaciones del Valle de Contador en Arico, afectando a la cuenca de cabecera del barranco de El Río; en dos estaciones de lectura mensual se midieron más de 800 L/m^2 ese mes de diciembre; medida ésta que contrastada con las de otras estaciones vecinas de lectura diaria permite deducir que dichas dos estacione el día 11 debieron recibir, al menos, **400** L/m^2.

VI.14.2. Afecciones hidrológicas y estructurales

En la costa de El Rosario y en la de Güimar (La Caleta) las escorrentías generadas con la tormenta del día 2 invadieron viales y bajos de viviendas después de desbordar fuera del constreñido espacio al que habían reducido las edificaciones a los cauces naturales.



Figura 123. Desbordamiento de cauces en la costa sureste (Internet – Meteo La Matanza)

Las lluvias más copiosas del día 11 fueran desaguadas hasta el mar, sin mayores incidencias, a través, principalmente, del barranco de El Río y otros barrancos colindantes. Por el contrario, los núcleos turísticos de la costa suroeste (Los Cristianos, Playa de las Américas, Playa San Juan…) sí sufrieron inundaciones de viales e incluso de locales comerciales como consecuencia de las lluvias pues, aún sin ser éstas como las recibidas por la cumbre de Arico, también fueron abundantes.

VI.14.3. Medidas estructurales correctoras



Figura 124. Canalización enterrada del tramo final del barranco de Las Lisas en El Rosario (CIATF)



Figura 125. Obras de canalización del bco. de Chayofa en La Caleta de Güimar. (URBEING)
Originalmente las escorrentías circulaban entre muros de viviendas.

VI.15. TEMPORAL DE NOVIEMBRE DE 2016

El 5 de noviembre de 2016 una fuerte tormenta acompañada de aparato eléctrico azotó la costa noroccidental de la isla de Tenerife. Los municipios de Tacoronte y San Cristóbal de La Laguna fueron los más afectados ya que las intensas lluvias, de hasta 47.3 mm en 30 minutos, provocaron inundaciones en muchas zonas de ambos municipios.

En las estaciones de TACORONTE y RAVELO que gestiona la entidad AGROCABILDO se midieron 70 mm y 83 mm de lluvia respectivamente.

Este episodio de precipitaciones intensas puso de manifiesto que el núcleo del Campo de Golf, en el municipio de Tacoronte, es zona susceptible de riesgo hidráulico tal y como se contempla en el Plan de Defensa Frente a Avenidas (PDA) de Tenerife. Como consecuencia, la TF-5 queda totalmente inundada sentido Santa Cruz



Figura 126. Inundación de la carretera TF-5 con las lluvias del día 5 de noviembre de 2016

El Consejo Insular de Aguas de Tenerife a raíz de este suceso, acomete la redacción de un estudio hidrológico que permita a los organismos afectados (Carreteras de Cabildo, Ayuntamiento de Tacoronte, etc.) disponer (a nivel de planificación) de un documento técnico con una propuesta de medidas que permita evitar sucesos como los ocurridos el 5 de noviembre de 2016[11]

Como medidas correctoras se proponían modificaciones en las rasantes de determinados viarios, eliminación de las ocupaciones de cauce, modificaciones del flujo de las escorrentías y ejecución de conexiones de viarios con cauces.

[11] ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL BCO. DE SAN JUAN – Guillermo Santana González - CIATF

CAPÍTULO VII
HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL CONTROL HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

VII.1. INTRODUCCIÓN

Cuando se inicia la construcción del Modelo de Hidrología Superficial (MHSup) ya se contaba con un modelo de simulación de la hidrogeología insular: el Modelo de Flujo Subterráneo (MFS). Posteriormente, el CIATF ha venido desarrollando diversas herramientas informáticas orientadas al análisis hidrológico. Entre ellas:

- ✓ la Guía Metodológica para el cálculo de Caudales de Máximas Avenidas
- ✓ el Módulo de Gestión de Tormentas 2011 (MGT), que permite realizar la caracterización de cualquier episodio de precipitación en la Isla.

VII.2. EL MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO

VII.2.1. Introducción

El sistema acuífero recibe como aportes hídricos la **recarga de la lluvia** –deducida empíricamente por medio del MHSup– y el **retorno de riegos;** y acusa como salidas los **derrames al mar** y las **extracciones** de las explotaciones mediante galerías y pozos. Dado que estas últimas superan a las entradas el déficit se cubre detrayendo **reservas** al sistema. Fueron éstas las premisas de partida para el desarrollo, por parte del CIATF del Modelo de Flujo Subterráneo de Tenerife (MFSub).

VII.2.2. Descripción general

Se trata de un modelo en capas – hasta cinco – capaz de representar la anisotropía horizontal de la permeabilidad en los ejes estructurales de la isla. La modelización matemática del sistema se realiza sobre una discretización de la isla en 2.188 celdas de 1 km de lado. A cada celda se le asignan datos de tipo geométrico, geohidrológicos e hidrológicos. El modelo se ha calibrado en régimen permanente y en transitorio, tomando como referencia inicial la superficie freática del año 1925, fecha en que tiene comienzo la explotación de la zona saturada por las galerías. Se le incorporan los datos históricos de extracciones, de recarga y de retorno de riego y se le ajusta de forma que, a lo largo del período a considerar, se reproduzcan las isopiezas deducidas en determinadas fechas a partir de la información facilitada por las captaciones que se han adentrado en el subsuelo en busca del acuífero.

El MFSub permite cuantificar algunos de los términos del balance hídrico subterráneo, como son el flujo al mar y la variación de las reservas, tanto para el período histórico como para las prognosis de futuro. La última actualización del MFS se realizó en enero de 2011; se analizó el período histórico comprendido entre el año de inicio de la explotación del acuífero (1925) y el año 2010.

BHS 1925 - 2010		hm³/año
ENTRADAS	Recarga	337
	Retorno de Riego	55
ENTRADAS TOTALES (E)		392
SALIDAS	Extracciones	-143
	Flujo al mar	-374
SALIDAS TOTALES (S)		-517
RESERVAS		-125

Tabla 64. Balance Hídrico Subterráneo (BHSub) deducido a partir del MFSub

VII.2.3. El modelo como herramienta de pronóstico.

A través del MHSub se ha comprobado que las hipótesis de funcionamiento hidrogeológico son en conjunto correctas. Su calibración en régimen transitorio permite disponer de un instrumento de pronóstico del funcionamiento del sistema acuífero ante futuras situaciones de explotación de las aguas subterráneas suministrándole diferentes alternativas de explotación del acuífero. En principio dichas alternativas se plantean, a su vez, bajo dos hipótesis de recarga: dada la incertidumbre del fenómeno se considera una recarga constante deducida a partir de la serie meteorológica estudiada en el MHSup; una segunda alternativa extrapola en el tiempo la serie analizada con diferentes criterios.

VII.3. LA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS DE AVENIDA

VII.3.1. Introducción

La hetereogeneidad general de las características hidrológicas e hidrogeológicas de nuestras cuencas:

- ✓ Importantes gradientes Altura-Precipitación
- ✓ Gran diversidad de cobertera (geológica, edafológica, vegetal...)
- ✓ Orografía muy pronunciada
- ✓ Contornos muy irregulares

unido a los inconvenientes de la aplicación estricta del método racional en las cuencas insulares estaban dando lugar a disparidad de criterios en los cálculos de lo caudales máximos de avenida que supuestamente se generan en los cauces de la isla. En general, se estaban deduciendo caudales infravalorados.

VII.3.2. Descripción general

Al objeto de conseguir la uniformidad en dichos cálculos, desde el CIATF se abordó la elaboración de la **Guía Metodológica para el cálculo de Caudales Máximos de Avenida**. Se trata de una herramienta informática dirigida a usuarios genéricos que integra todas las componentes necesarias para el cálculo: datos

elaborados (hidrológicos, físicos y geométricos de los cauces y las cuencas), metodología, criterios e hipótesis homologadas.

La Guía Metodológica combina las técnicas más consagradas y fiables para los cálculos hidrológicos y las herramientas informáticas más modernas y flexibles, sobre una amplia base de información hidrometeorológica. Además de la continua actualización de series pluviométricas y pluviográficas, se dispone de información muy detallada de las características del territorio que intervienen en el proceso de generación de escorrentía: la masa vegetal (cultivos y vegetación natural), los suelos (en su acepción edafológica) de cobertera, las características geológicas del terreno subyacente, los usos antrópicos (por la alteración de la capacidad de infiltración de los terrenos), la pendiente, la topología y desarrollo de la red de drenaje y sus características morfológicas, etc.

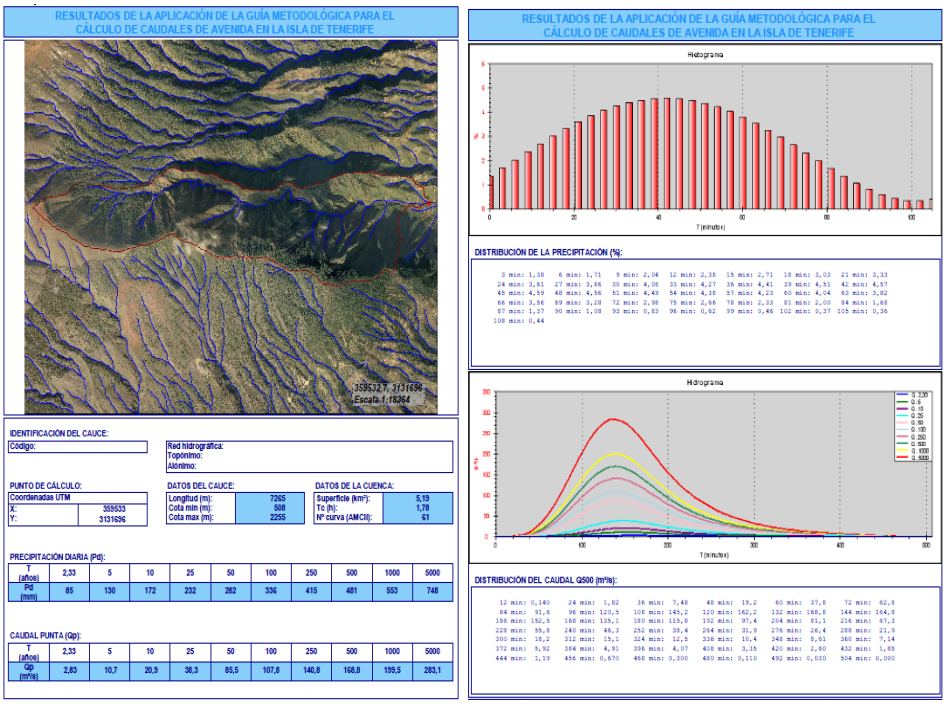


Figura 127. Información aportada por la G.M. para el cáculo de Caudales Máximos de Avenida

Se han considerado distintos tiempos de retorno: 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 y 5000 años, y para cada uno de ellos se ha confeccionado un mapa de isolíneas (isohietas) de precipitación máxima diaria.

Se han utilizado las funciones de distribución Gumbel, SQRT-ET max y log Pearson tipo III para determinar la magnitud de las lluvias que pueden presentarse con una determinada probabilidad, utilizando a tal efecto el concepto de «período de retorno» o «de recurrencia» con el que se espera se produzca al menos una vez el fenómeno con esa magnitud.

La Guía proporciona de forma automática el caudal (m^3/s) de escorrentía líquida en cualquier punto o cuenca vertiente seleccionada, con la ayuda de herramientas gráficas de un Sistema de Información Geográfica. Como información complementaria facilita el código y nombre del cauce, las coordenadas del punto de cálculo, los datos físicos y geométricos del cauce y de la cuenca vertiente, así como los resultados (en tablas y gráficos) de la precipitación máxima diaria y de los caudales de avenida asociados a distintos períodos de retorno

En esta Guía se formulan hipótesis y criterios metodológicos homologados para el cálculo de caudales de avenida, por lo que tiene carácter vinculante para los estudios hidrológicos que se realizan con fines de diseño de infraestructuras. (CIATF e INCLAM)

VII.4. EL MÓDULO DE GESTIÓN DE TORMENTAS

VII.4.1. Introducción

Esporádicamente, aunque en los últimos años con mayor frecuencia, afectan a la isla de Tenerife fenómenos meteorológicos adversos que descargan importantes precipitaciones originando escorrentías, tanto líquidas como sólidas, que puntualmente alcanzan caudales de avenida importantes. Las consecuencias negativas de dichas avenidas precisan un estudio detallado del fenómeno para determinar las causas que producen los daños. Por ello interesa conocer, con la mayor exactitud posible, la forma espacio-temporal de las tormentas así como la magnitud total del evento y su intensidad a distintos intervalos.

Para cumplir estos requisitos se han desarrollado diversas herramientas. En primer lugar, se dispone de una aplicación denominada Módulo de Gestión de Tormentas 2011 (MGT), que permite estudiar y caracterizar cualquier episodio tormentoso.

VII.4.2. Descripción general

El objetivo fundamental de la aplicación es poder caracterizar con la mayor exactitud posible -y en el ámbito de la isla de Tenerife- la forma espacio-temporal de un episodio lluvioso, pudiendo incorporar información pluviométrica de distintas fuentes para su correcto procesamiento y posterior utilización

Esta aplicación ha tenido que afrontar las condiciones especiales concurrentes, derivadas de la existencia de múltiples redes de observación gestionadas por distintas entidades, lo que implica que las series disponibles de datos observados puedan tener diferente periodicidad (desde 10 ó 12 minutos hasta varias horas y hasta 24h en el caso de los pluviómetros), además de encontrarse almacenadas en archivos de diferente formato.

El MGT incorpora una colección de utilidades que permiten efectuar el tratamiento de datos y el análisis de toda la información pluviográfica y pluviométrica almacenada en su base datos:

-Importación de datos de lluvia obtenidos en distintas redes de observación.

-Homogeneización de la periodicidad de las series de datos pluviométricos, obteniendo un intervalo único de cálculo frente al intervalo variable de las series originales, dependiendo de la entidad que las suministre.

-Análisis y depuración de datos registrados por parte del usuario durante el estudio de cada episodio.

-Consulta de información de episodios de lluvia ocurridos durante determinados intervalos temporales de forma rápida y visual**.**

-Gestión de estaciones virtuales, que suplirán las lagunas de información registrada, con el fin de mejorar el cómputo espacial de los registros de lluvia.

-Obtención de series datos a partir de valores reales, aplicando algoritmos para el cálculo de histogramas y estimación de series pluviométricas.

-Generación de mapas de lluvia en todo el territorio insular, permitiendo simular el episodio y estudiar su evolución a lo largo del tiempo.

-Exportación de resultados -series pluviométricas en estaciones y mapas de lluvia- a formatos estándar.

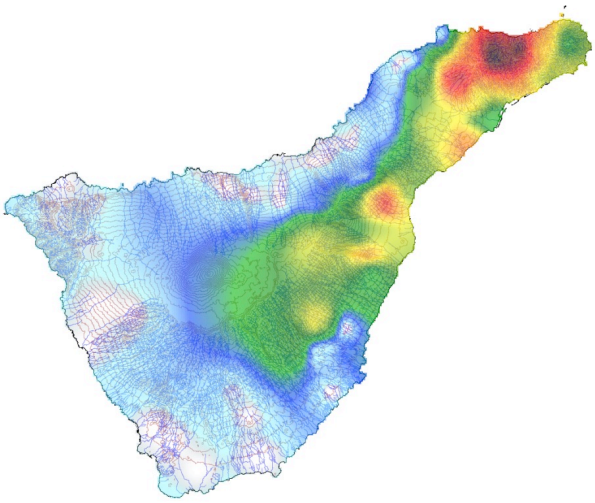


Figura 128. Simulación de la evolución de la tormenta del 1/02/2010 en intervalos de 10 minutos

A medio plazo se pretende integrar todas estas herramientas dentro de un sistema de evaluación del riesgo hidráulico y vigilancia con fines de protección civil.

ADENDA

Sobre el Autor

MI RELACIÓN CON LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Salvo un par de incursiones en la obra civil, mis más de cuarenta años de actividad laboral siempre han estado vinculados a los recursos hídricos –subterráneos y superficiales– muy particularmente de Tenerife. Mi relación con ambos, bien en funciones administrativas o bien en labores técnicas, la he llevado en paralelo: de forma continua con la primera y cuasi continua con la segunda, pero sin distintivos de dedicación ni de preferencia. Si bien mi vida profesional la inicié oficialmente asociada a los recursos subterráneos a los que, de una manera u otra, siempre he estado ligado, estoy convencido de que mi acceso a la hidrología de superficie, habiendo sido circunstancial, ha tenido mucho que ver con ese atributo, a menudo tan esquivo, pero a su vez tan anhelado, que no es otro que la suerte. Pienso pues que esa ha sido la razón de haber podido ser partícipe de los más importantes Proyectos y/o Estudios que, llevados a cabo en Canarias o Tenerife en particular durante las últimas décadas, han tenido relación, en todo o en parte, con la hidrología superficial de esta isla. Proyectos y/o Estudios cuya descripción ha ocupado algunos de los capítulos del libro, pero que ahora quiero referenciar, aludiendo a sus principales responsables, con un doble objetivo:

1. En primer lugar, expresar mi agradecimiento a todos aquellos que depositaron su confianza en mi persona, haciéndome partícipe de tales trabajos.
2. Al mismo tiempo, mostrar cual ha sido la trayectoria que me ha permitido acopiar los conceptos, fundamentos y experiencias sobre las que se ha ido cimentando la construcción del modelo matemático de simulación de la hidrología superficial de esta isla que se describe en este libro.

Con los Proyectos SPA-15 y MAC-21

Todo empezó con el Proyecto Canarias SPA-15. Entre diciembre de 1972 –fecha de mi incorporación– hasta diciembre de 1976, el cometido principal que se me asignó había consistido en la realización de visitas, inventarios y análisis estadísticos relativos a los tres tipos de explotación de aguas subterráneas en la isla: las galerías, los pozos y los manantiales. Por aquel entonces, mi entonces jefe y también amigo, el ya fallecido *José Sainz de Oiza* –en aquellas fechas Director del «Estudio Científico de los Recursos de Agua en las Islas Canarias» (Proyecto SPA-15)– me ofreció –me consta que con el apoyo de los también amigos *José Jiménez Suarez* y *Octavio Lozano García*– la posibilidad de realizar el Curso de Hidrología y Recursos Hidráulicos que, bajo la dirección de *Rafael Heras Rodríguez*, se impartía en Madrid por el INSTITUTO DE HIDROLOGÍA del CSIC en colaboración con el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Lógicamente, me sentí halagado, muy agradecido e ilusionado con la nueva experiencia que se me presentaba. Se me brindaba poder ampliar conocimientos e incluso especializarme en un campo –la Hidrología Superficial– con el que ya había contactado, aunque sin profundizar, en mis años de formación como Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

Fueron seis meses intensos, instruyéndome en una materia que fue apasionándome día a día. Sin embargo, conforme más me entusiasmaba más me invadían las

dudas respecto de las probabilidades de poner en práctica a mi regreso todo, o al menos parte, de lo que iba asimilando. En aquellos años, el protagonismo de las aguas superficiales en la oferta hídrica insular era insignificante comparado con el de las subterráneas. Acabado el Curso de Hidrología y recién incorporado de nuevo al trabajo, mi primera experiencia no fue precisamente positiva, pues fui testigo directo del frustrado intento de aprovechar las aguas de escorrentía mediante presa de cerramiento en el barranco del Río (Arico); no era previsible pues que, en el futuro, se acometieran «aventuras» similares.

Con el Plan de Balsas del Norte de Tenerife

Pero la suerte había sido y siguió siendo una aliada en mi vida profesional. Apenas pasados tres años de mi regreso del Curso de Hidrología, los directores del entonces recién creado Plan de Balsas del Norte de Tenerife: *José D. Fernández Bethencourt y Escolástico Aguiar González* nos encomiendan a *Adolfo de Hoyos-Limón Gil, Luis O. Puga Miguel* y a quien suscribe la realización de los estudios hidrológicos de determinadas cuencas del norte de la isla. El análisis de más de una docena de cuencas hidrográficas nos puso en alerta respecto de algunas de las singularidades específicas de la hidrología insular; las cuales debían y deben resolverse en paralelo o complementariamente a la aplicación de los procedimientos estándar tradicionales en cualquier estudio relacionado con el ciclo del agua en las islas.

Casi solapando con la finalización de los encargos precedentes, la empresa TRAGSA, con la mediación de *Enrique Amigó Rodríguez,* nos encomienda a *Luis O. Puga Miguel* y a quien redacta estas líneas el análisis del posible aprovechamiento de las aguas de escorrentías que se generan en el barranco de El Volcán, en Fasnia, como complemento a los aportes de agua subterránea con los que se pretendía alimentar la balsa de Chifira, ya en construcción en el momento del encargo. Una información de campo viciada, un período de estudio muy húmedo y, de nuevo, la práctica de una metodología de cálculo no aplicable estrictamente a las islas, dio lugar a unas expectativas de aprovechamiento poco afortunadas. Años más tarde, con varias balsas ya en explotación y, lógicamente, con la lección aprendida, a propuesta del Gerente de BALNORTE, *Escolástico Aguiar Gonzalez*, acometimos los estudios hidrológicos en media docena de cuencas hidrográficas cuyos aportes de escorrentía complementarían los que ya alimentaban, superficiales y subterráneos, las balsas de Montaña de Taco y de Valle Molina.

Con los Avances de los Planes Hidrológicos Insulares

Casi de inmediato surge una nueva propuesta; esta vez en un capítulo nuevo de la hidrología. El director del AVANCE del Plan Hidrológico Insular de Tenerife, *José D. Fernández Bethencourt*, y el director de los AVANCES de los de La Palma, La Gomera y El Hierro, *Carlos Soler Liceras*, nos encargaron a *Luis O. Puga Miguel* y a un servidor la construcción de los Balances Hídricos Insulares de las cuatro islas. Se trataba de actualizar el valor de sus cuatro elementos principales: Precipitación, Evapotranspiración, Escorrentía e Infiltración Efectiva a partir de las series de re-

gistros disponibles de las variables climatológicas que intervienen en el proceso de cálculo. La experiencia que nos había aportado nuestro paso por el Plan de Balsas nos permitió, al menos, acercar el valor de la Escorrentía; sin embargo, la aplicación estricta, de nuevo, de los procedimientos al uso sin tener en cuenta las especificidades de la hidrología local, desvirtuó los que parecían corresponder a la Evapotranspiración y a la Infiltración en las islas, al menos, en las cuatro mencionadas.

La evaluación de dichas especificidades sólo podía abordarse a partir de un exhaustivo reconocimiento previo del terreno. También tuve suerte al respecto, pues pude contar con un excelente profesional y mejor persona: *Oscar Hernández Pacheco*, auxiliar técnico del CIATF, ya jubilado. Durante cerca de dos años, casi siempre juntos y a veces por separado, nos arreglamos para encontrar la ocasión y el tiempo necesario para recorrer palmo a palmo más de la mitad de la geografía insular, recogiendo todos aquellos detalles que en las cartografías disponibles no era posible averiguar. Nos centramos sobre todo en la geomorfología de los cauces y en las características de sus cuencas vertientes; más de tres mil fotografías lo atestiguan.

Entre tanto, quien suscribe tuvo la oportunidad de subsanar buena parte de los desvíos observados en el BHI del AVANCE del PHI de Tenerife, pues se le encargó su actualización; en esta ocasión, para el propio Plan Hidrológico Insular de Tenerife (PHI).

Con los Proyectos CAMPITOS, TENADE y TREVEJOS

Mención especial merecen los estudios hidrológicos que acompañaron a tres macroproyectos: Plan Operativo de LOS CAMPITOS, Proyecto TENADE y Proyecto de TREVEJOS, pues quizás hayan sido los más complejos de realizar. En cada uno de ellos hubo que hacer el análisis conjunto de las escorrentías de varios barrancos para su captura y posterior almacenamiento en una balsa, manejando varias alternativas de aprovechamiento. En aquellos momentos la informática «doméstica» acababa de hacer su aparición; todavía conservo los primeros programas en BASIC que construí al efecto, cuya estructura acababa corrigiendo y mejorando, el entonces compañero de trabajo, *Eduardo de Miguel Gavira*.

En el Servicio Hidráulico

Hasta ese momento, toda esta actividad la acometía —en parte junto con mi compañero de entonces y amigo de siempre Luis Puga— en paralelo con mis labores en el mencionado Servicio Hidráulico Provincial de Santa Cruz de Tenerife; primero como órgano periférico del MOPU (Administración General del Estado) y más tarde, tras las transferencias de competencias a la Comunidad Autónoma, en la Dirección de Aguas del Gobierno de Canarias; llevándola a cabo de manera que dichas labores no sufrieran menoscabo, ni en dedicación ni en intensidad, por causa de aquella. No obstante, debo agradecer que mis jefes no pusieran obstáculo alguno cuando se les solicitó mi colaboración en alguno de los asuntos citados en los párrafos precedentes: a *Fernando Pradas Larraz* quien «me echó una mano»

con mis primeras programaciones; a *Manuel Caballero Ruano*, testigo de aquellas frustraciones iniciales con las balsas de BALTEN; a *Emilio Alsina Pérez* del que me consta su interés y lectura de alguno de aquellos informes hidrológicos; y finalmente, a *Pedro Calderón López*, que también tengo que agradecerle su apoyo y comprensión.

De aquel tiempo, recuerdo los debates con *José Valladares La Roche* acerca de las formulaciones al uso para el cálculo de los caudales de máximas avenidas.

En el Consejo Insular de Aguas de Tenerife

Mi paso en julio de 1995 al CIATF supuso ya mantener una relación constante con la hidrología. Siendo el responsable del Área de Recursos Hidráulicos por mi mesa de trabajo pasaron centenares de informes hidrológicos, redactados bien por técnicos externos al CIATF, bien por los propios compañeros de Área; incluso yo mismo suscribí algunos de ellos. Precisamente durante esos años, temporales de lluvia de carácter extraordinario dieron lugar a complejos informes hidrológicos, cuya redacción compartí con *Pedro Delgado Melián* y *Javier Fernández Rodríguez*.

Puse mi pequeño grano de arena en la elaboración de la «Guía para el cálculo de Caudales Máximos de Avenidas» y el «Módulo Gestor de Tormentas». También tuve mi cuota de colaboración en la implementación en las bases de datos del CIATF de la Toponimia cartográfica de los barrancos de Tenerife, cuya laboriosa y concienzuda labor de rescate la llevó a cabo *Miguel Pérez Carballo*. Fui testigo privilegiado del desarrollo desde el CIATF del «Plan de Defensa frente a Avenidas» (PDA). Con cargo a las revisiones del PHT se ha venido actualizando el BHI; de entre sus elementos, la recarga de agua de lluvia o infiltración efectiva, definida en el MHSup, es la entrada principal al Modelo de Flujo Subterráneo (MFS) herramienta ésta de la que se sirve el CIATF para el seguimiento y control del multiacuífero insular, cuya gestión corre a cargo de *Isabel Farrujia de la Rosa* con quien he compartido y sigo compartiendo análisis de estudios hidrológicos.

Con las otras islas occidentales

También en las otras tres islas occidentales tuve la oportunidad de realizar estudios relacionados con la hidrología. Fueron varios, pero entre todos quizás destaque por su complejidad el que por encargo del entonces Director del PHI de La Palma, *Carlos Soler Liceras* y bajo el título «Estudio Integral del Aprovechamiento de los Caudales que circulan por el Barranco de las Angustias» redactamos entre *Luis O. Puga Miguel* y quien les informa. También realizamos juntos el Cálculo de los Caudales Máximos de Avenida en todas las cuencas hidrográficas de la isla de El Hierro, así como en el citado Barranco de Las Angustias en la isla de La Palma. En esta isla, para el también amigo –como lo son todos los citados– *Eduardo García Rodríguez*; realizamos varios estudios hidrológicos e hidráulicos.

Con el Plan Hidrológico de Tenerife

En el Plan Hidrológico Insular (PHI) formé parte del equipo redactor y en el recién aprobado Plan Hidrológico de Tenerife (PHT) figuro como consultor. Una de las tareas encomendadas en el primero fue la revisión del BHI; para el segundo redacté el documento La Hidrología Superficial en Tenerife, siendo éste uno de los estudios básicos de una de las fases de desarrollo del Plan. Otro estudio básico en los PHT es el Balance Hidráulico entre disponibilidades y consumos: del primero fui coautor junto con *Luis O. Puga Miguel;* de los siguientes, siendo funcionario del CIATF, codirector junto con *Pedro Delgado Melián*; y ya jubilado, colaborador y/o coautor cuando se nos solicitó por el anterior Gerente del CIATF, *José Fernández Betancourt*. Por encargo del nuevo Gerente *Javier Davara Méndez* y con la imprescindible colaboración de *Adolfo de Hoyos-Limón Gil,* he suscrito el último.

Con el Modelo de Simulación de la Hidrología de Tenerife

Uno de mis últimos contactos con la hidrología –fruto de un encargo del CIATF a través del responsable del Área de Infraestructura *Lorenzo García Bermejo*– ha sido la revisión y puesta a punto de la cuarta versión del Modelo de Simulación de la Hidrología Superficial de Tenerife (MHSup). Uno de los objetivos de esta nueva versión era comprobar las nuevas utilidades incorporadas. A esta le precedieron otras tres que, planteadas con el mismo objetivo de mejora, fueron receptivas a algunas de las sugerencias externas. La quinta versión la dirigió y controló *José María de Tomás y Miguel* quien también me hizo el encargo de su revisión.

Cursos, Jornadas y Comunicaciones

En las últimas décadas se ha llevado a cabo una continuada labor de divulgación de la hidrología insular. Por parte del CIATF y también de otras entidades locales se han organizado en esta isla Cursos y Jornadas en las que se han expuesto y debatido distintas temáticas al respecto. En algunas de las promovidas por el CIATF he podido compartir estrado con ponentes locales y de fuera de las islas que nos ilustraron con sus conocimientos. Por otro lado, el personal del CIATF ha sido muy a menudo partícipe activo en eventos similares fuera de la isla, aportando comunicaciones, artículos. … También he sido autor o coautor de alguno de ellos.

Con otras Organismos y Entidades locales

A la memoria me vienen las continuas visitas en busca de datos climatológicos que, a principios de los años noventa, realizaba al despacho de *José Luis Sanchez Mejías* en el centro regional del antiguo INM, dirigido entonces por *Carmen Rus;* a ambos les agradezco sus atenciones. En la actualidad la función del primero la hace *Ricardo Sanz* siendo *Victor J. Quintero García* el actual director del centro provincial de la AEMET; por las mismas razones, también mi sincero agradecimiento.

Luis O. Puga Miguel y *Javier Martinez García* me dieron la oportunidad de exponer ante sus alumnos de la escuela de ITOP (ULL) el procedimiento de evaluación de la lluvia horizontal. Muchas gracias a ambos.

Agradecido por el asesoramiento y la documentación relacionada con la Evapotranspiración que nos aportaron, en su día, *Jesús Rodrigo López* (ULL), y en fechas cercanas *Carlos M Regalado* (ICIA), *Axel Ritter* (ULL), *Carmen Luisa Suarez* (Gobierno de Canarias), *Clemente Méndez Hernández* y *Jorge Márquez Rodríguez* (CABILDO).

Desde el Centro de Investigaciones Atmosféricas de Izaña (CIAI), *Emilio Cuevas Agulló* siempre ha atendido mis consultas de climatología. Muchas gracias.

Finalmente a *Emilio Custodio Gimena* (UPC) por sus consejos y por haberme hecho partícipe de alguno de sus «macroestudios», también le transmito mi agradecimiento.

Comentarios finales

Éste pues ha sido el recorrido que me ha permitido acumular conocimientos y experiencias de las que me he servido para la elaboración de «un» modelo conceptual que, expresado matemáticamente, simula el ciclo hidrológico en esta isla. Tuve la fortuna de que el entonces director del Avance del PHI, mi amigo *Pepe Fernandez Bethencourt*, creyera en mi propuesta y la apoyara, encargando su transposición al lenguaje informático; operación que llevó a cabo la mencionada empresa INCLAM.

BIBLIOGRAFÍA

ABOAL, J. (1998): Los flujos netos hidrológicos y químicos asociados de un bosque de laurisilva en Tenerife. Tesis doctoral, Universidad de La Laguna. La Laguna

ABOAL, J.; JIMÉNEZ, M.S.; MORALES, D.: Evaluación de la Precipitación de Niebla a Través de la Precipitación Penetrante. Vieraea. Volumen 28.

AMIGÓ RODRÏGUEZ, E. y AGUIAR GONZALEZ, E. (1994): Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas – Consejería de Agricultura y Alimentación (Gobierno de Canarias).

AGUILERA, F. y CASTILLA, C. (1991): Economía Ecológica; Estudio de Valoración de los ecosistemas forestales de Canarias.

ALSINA, E. (….): Evaluación de los requerimientos de control y auscultación de las presas del archipiélago y la determinación de los elementos de control y auscultación necesarios en cada una de ellas – DGA de la Consejería de Obras Públicas y Transporte del Gobierno de Canarias.

AMIGÓ, J. y LA ROCHE, J. (1960): Plan de Obras Hidráulicas de la isla de Tenerife – Biblioteca Casa de la Cultura – Tenerife

AMIGÓ, J. (1960): Los alumbramientos de agua en Tenerife – Instituto de Estudiso Canrios (IEC).

BARREDA, A. y MENESES, A. (2017): Proyecto: Balsa de Lomo Chabeña y canalizaciones asociadas (T.M. Vilaflor).

BRAOJOS RUIZ, J.J. (1988): Zonificación hidrológica – Evolución de la superficie freática - CIATF

BRAOJOS RUIZ, J.J. (1992): Estudio de viabilidad del Aprovechamiento de las Aportaciones de Escorrentía de las cuencas de El Carrizal en el esquema de Explotación del Embalse de Montaña de Taco. Proyecto TEN-ADE. CIATF

BRAOJOS RUIZ, J.J. (1992): Estudio estadístico de la evolución histórica de los alumbramientos de agua mediante galerías en la isla de Tenerife . CIATF

BRAOJOS RUIZ, J.J. (1993): Estudio de Optimización del Aprovechamiento de los Recursos Superficiales del Macizo de Teno

BRAOJOS RUIZ, J.J. (1993): Estudio de la optimización del aprovechamiento de los recursos superficiales en la subcomarca Santa Cruz-La Laguna-Tegueste – DGOH de la Consejería de Obras Públicas y Agua del Gobierno de Canarias

BRAOJOS RUIZ, J.J. (1994): Estudio de optimización del aprovechamiento de las aguas de escorrentía generadas en las cabeceras de varias cuencas superficiales de Vilaflor

BRAOJOS RUIZ, J.J. (1996): Uso y manejo del banco histórico de datos climatológicos para la obtención de los elementos primarios (precipitación y evapotranspiración) del Balance Hídrico en las islas occidentales. CIATF

BRAOJOS RUIZ, J.J. (1997): Definición de la recarga a través del balance hídrico en

las Islas Canarias occidentales. Modelización – Seminruio: La Evaluación de la Recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica Canaria – Las Palmas

BRAOJOS RUIZ, J.J. (1999): Los recursos hídricos superficiales: evaluación y aprovechamiento. I curso de hidrología de Canarias – Instituto de Estudios Cnarios – La Laguna.

BRAOJOS, J.J., FARRUJIA, I. Y FERNÁNDEZ, J.D. (2006): Los recursos hídricos en Tenerife frenta al cambio climático - CIATF

BRAOJOS RUIZ, J.J. (2012): La Hidrología de superficie en la isla de Tenerife - CIATF

BRAOJOS RUIZ, J.J. (2015): La nube, el pino y la otra lluvia – CIATF

BRAOJOS, J.J. y HOYOS-LIMÓN, A. (2017): Estudio de las fuentes de suministro de caudales de la balsa de Chifira. - BALTEN

BRAOJOS RUIZ, J.J. (2018): Balance Hidráulico de Tenerife - CIATF

CEBALLOS, L.; ORTUÑO, F. (1952): El Bosque y el Agua en Canarias. Montes, 48, 418-423. Madrid

COELLO y BRAVO Estructura COEBRA

COELLO, J.J. y FERRERM. (2008): Grandes deslizamientos gravitacionales - GeoGuía

COELLO, J.J., BALCELLS, R., FARRUJIA, I., GARCÍA, C. Y FERNÁNDEZ J.D. (2015): Hidrología y evolución del caudal de los nacientes de Abinque – Jornadas sobre el Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos de islas volcánicas – Las Palmas de Gran Canaria

COLA BENÍTEZ, L. (1996): Barrancos de Añazo

CUEVAS, E.: Jornadas sobre Impactos del Cambio Climático en la Hidrología de las Islas Canarias. Gobierno de Canarias; Consejo Insular de Aguas de Tenerife y Centro Canario del Agua.

CUSTODIO, E. y LLAMAS, E. (1976 y 1983): Hidrología Subterránea.

DELGADO, P., BRAOJOS, J.J., MOYA, A. y GARCÍA, E. (2011): Módulo de Gestión de Tormentas en la modelización hidrológica de superficie de Tenerife mediante ANSYS-CFX y Xflow – II Jornadas de Ingeniería de Agua – Barcelona.

DE LEÓN, F.M.: Noticias dadas por los Ayuntamientos de la Provincia de las Fuentes y Manantiales de sus Respectivas Jurisdicciones – Biblioteca Pública Municipal

DORTA, P (1996): Las inversiones térmicas en Canarias. Investigaciones Geográficas, 15, 109-124.

ESTRELA, T., CABEZAS; f. y ESTRADA, F. (1999): La evaluación de los recursos hídricos en el Libro Blanco del Agua en España

ESTRELA Y QUINTAS (1996); CABEZAS et alt. (2000); RUIZ (2000): SIMPA (Sistema Integrado de Modelización Precipitación Aportación) – CEDEX

FARRUJIA, I., VELASCO, J.L., FERNÁNDEZ, J.D. y MARTÍN, M.C. (2004): Evolución del nivel freático en la mitad oriental del acuífero de las Cañadas del Teide. Cuantificación de parámetros hidrológicos - CIATF.

FARRUJIA, I., BRAOJOS, J.J. y FERNÁNDEZ, J.D. (2006): Evolución cuantitativa del sistema acuífero de Tenerife – III Congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente (Zaragoza) - CIATF.

FERNÁNDEZ BETHENCOURT, J. D. y AGUIAR GONZÁLEZ, E. (1980): Estudio de Viabilidad del Plan de Blasas del Norte de Tenerife – BALTEN.

FERNÁNDEZ BETHENCOURT, J. D. (1999): El Plan Hidrológico Insular de Tenerife – CANAGUA`99 Jornada de Planificación Hidráulica Canaria – Las Palmas

FERNÁNDEZ BETHENCOURT, J. D. (2005): Cambio Climático y Recursos Hídricos en Tenerife – Jornadas sobre Impactos del Cambio Climático en la Hidrología de las Islas Canarias.

FONT TULLOT, I. (1951): El espesor de la capa superficial de aire marítimo en la región de las islas Canarias. Revista de Geofísica, 40, 281-291

GIL GONZALEZ, M. L.: Flora Vascular de Canarias. www.floradecanarias.com

HARGREAVES, G.H. y SAMANI, Z.A. (1985): Reference Crop Evapotranspiration Temperature

HERAS, R. et alt. (1965): Estudio Hidrológico de Base em la isla de Tenerife - CEDEX.

HERAS, R. (1976): Hidrología y Recursos Subterráneos - CEDEX

HOYOS-LIMÓN, A y BRAOJOS, J.J.: Hidrología de la cuenca del barranco de Los Camellos (1981). Plan de Balsas del Norte de Tenerife. BALTEN

HOYOS-LIMÓN, A y BRAOJOS, J.J.: Estudio Hidrológico para la balsa de Valle Molina (1981). Plan de Balsas del Norte de Tenerife. BALTEN.

HOYOS-LIMÓN, A; PUGA, L y BRAOJOS, J.J (1987): El Agua en Canarias – Gobierno de Canarias y MOPU.

HOYOS-LIMÓN, A y BRAOJOS, J.J. (2015): Informe sobe el sistema hidráulico de la comarca de Chasna - BALTEN

KAMMER, F. (1974): Klima und Vegetation auf Tenerife besonders im hinblick auf den Nebelniederschlag. Gotinga. Ed. Erich Golize KG.

KATATA, G., REGALADO, C.M., RITTER, A. Y NAGAI, H.: Application of a land surface model that includes fog deposition over a tree heath-laurel forest in Garajonay National Park (La Gomera, Spain).

MARZOL, M.V.; DORTA, P.; VALLADARES, P.; MORÍN, P.; SANCHEZ MEGIA, J. y ABREU, M. (1995): La Captation de l'eau a Tenerife (Iles Canaries). L'utilisation des brouillards. Association Internationale de Climatologie. Volumen 7.

MARZOL, M.V.; SANCHEZ, J.; DORTA, P.; VALLADARES, P. (1996): La captación del agua del mar de nubes en Tenerife. Método e instrumental. Clima y Agua: La

gestión de un recurso climático. La Laguna 1996

MARZOL JAÉN, MARÍA VICTORIA (2002): La recogida de agua de agua de niebla en un parque rural de las Islas Canarias. Atmospheric Research 64, 239-250

MARZOL JAÉN, MARÍA VICTORIA (2005): La captación de agua de niebla en la isla de Tenerife. Caja General de Ahorros; Sta. Cruz de Tenerife

MARZOL, M.V.; VALLADARES, P.; DORTA, P. (2001): Métodos de análisis de la nubosidad: su aplicación a las cumbres de Tenerife (Islas Canarias).

MONTEVERDE MIRANDA, CARLOS ALBERTO: Contribución al estudio de los métodos de determinación de los Regímenes Hídricos del suelo. Aplicación en dos zonas de la isla de Tenerife. Tesis de Licenciatura. Departamento de Edafología y Geología. Universidad de La Laguna.

MÉNDEZ HERNÁNDEZ, C.: Recomendaciones de riego en Tenerife – Cabildo Insular de Tenerife.

NAVARRO, J.M. y FARRUJIA, I. (1989): Zonificación hidrogeológica de Tenerife. Aspectos geológicos e hidrofeológicos.

PUGA, L. y BRAOJOS J.J. (1985): Estudio hidrológico del barranco de Santos

PUGA, L. y BRAOJOS J.J. (1989): Estudio hidrológico de las cuencas de los barrancos del Agua y de Pina. Plan de Balsas del Norte de Tenerife. BALTEN

PUGA, L. y BRAOJOS J.J. (1989): Informe acerca del aprovechamiento parcial de los caudales que fluyen por el barranco de Santos en la balsa de Valle Molina. BALTEN

REGALADO, C.M. y RITTER, A. (2017): The perfomance of three fog gauges under field conditions and its relationsship with meteorological variables in an exposed site in Tenerife (Canary Island) – Agricultural and Forest Meteorology

RITTER, A.; REGALADO. C.M.; ASCHAN, G.; GÓMEZ, L.A. (2005): Contribución hídrica de la captación de niebla al balance de un bosque de laurisilva en el parque nacional de Garajonay.

SANTAMARTA CEREZAL J.C. (2017): Tratado de Minería y de Recursos Hídricos en islas Volcánicas Oceánicas.

SANTAMARTA J.C., CABRERA, M.C., CUSTODIO, E., DELGADO, S., GONZÁLEZ, J.J., HARDISSON, A., HERNÁNDEZ, E., HERNÁNDEZ, C., JIMÉNEZ, C.C., NERIS, J., SANTANA, L.M., RODRIGUEZ, J.A., RODRIGUEZ, J., SUÁREZ, F., SUÁREZ, A., TEJEDOR y M., VILLALBA, E. (2013): Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos. Métodos, técnicas y experiencias en las Islas Canarias.

SANTANA PÉREZ, L.M. (1987): Las precipitaciones de niebla en Tenerife. Simposio Internacional de Recursos Hidráulicos. Canarias Agua 2000. Pto de la Cruz. Tenerife.

SANTANA PÉREZ, L.M (2010): Evapotranspiración Penman-Monteith. Análisis 2008 – AGROCABILDO.

SANTANA PÉREZ, L.M (2010): Pluviometría de Tenerife 1920-2010. Efemérides y descripción de tormentas – AGROCABILDO.

SANTANA OJEDA, J.L. y SUÁREZ SÁNCHEZ, C.L. (2004): Evaluación de la ETo medida en lisimetros de hierba y Eto calculada según la ecuación de Penman Monteith. CD-rom:A11. ISBN: 84-8125-231-X: Consejeria de Agricultura y Desarrollo Económico. Gobierno de La Rioja

SANTANA OJEDA, J.L. y SUÁREZ SÁNCHEZ, C.L. (2008-2012): Asesoramiento de Riego para cultivos - Consejeria de Agricultura Pesca y Alimentación. Gobierno de Canarias.

SEIJAS, J. (1998): Precipitación Horizontal en los Montes Canarios. V Jornadas Forestales de Gran Canaria

SOLER, C. y LOZANO, O: (1985): El Agua en Canarias - Boletín nº 44 del Servicio de Informaciones del Servicio Geológico del MOPU.

TEJEDOR, M., HERNÁNDEZ, J.M., JIMENÉZ, C., RODRÍGUEZ, C.M., RODRÍGUEZ, M., NERIS, J., FUENTES, J., MONTEVERDE, C., MORILLAS, G. y ARMAS, S. (Dpto. de Edafología y Geología de la ULL) (2007): Caracterización de los suelos de la isla de Tenerife con especial incidencia en su funcionamiento hídrico – CIATF.

VALLADARES, P. (1996): Propuesta metodológica para el estudio del Mar de Nubes; el caso del año 1989 en el norte de Tenerife, Investigaciones Geográficas, 15, 99-108

VEN TE CHOW, MAIDMENT, D. y MAYS, L. (1994): Hidrología Aplicada.

VILLALBA MORENO, EUSTAQUIO: Características generales del clima en Canarias

AEMET. La precipitación en Izaña en el año hidrometerológico 2010-2011.

BALTEN (2008): 20 años de BALTEN

CABILDO DE TENERIFE. (1938): Plan Insular de Obras Hidráulicas - Biblioteca Municipal Central de Santa Cruz de Tenerife - Tenerife Espacio de las Artes (TEA).

CABILDO DE TENERIFE (1967): El Plan Hidráulico de Tenerife

CENTRO DE INVESTIGACIONES ATMOSFÉRICAS DE IZAÑA (CIAI): Notas divulgativas

CONSEJO INSULAR DE AGUAS DE LA GOMERA. Plan Hidrológico de La Gomera

CONSEJO INSULAR DE AGUAS DE EL HIERRO. Plan Hidrológico de El Hierro

CONSEJO INSULAR DE AGUAS DE TENERIFE. El Modelo de Simulación de La Hidrología Superficial en la isla de Tenerife

CONSEJO INSULAR DE AGUAS DE TENERIFE. Plan Hidrológico de Tenerife

CONSEJO INSULAR DE AGUAS DE TENERIFE. Cartografía Edáfica de la isla de Tenerife elaborada por el Departamento de Edafología y Geología de la

Universidad de La Laguna.

CONSEJO PROVINCIAL DE FOMENTO DE CANARIAS (1916): Estudios sobre Riegos.

FAO (2006): Evapotranspiración de cultivo: guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos

ICONA (1987): MAPA DE LAS SERIES DE VEGETACION DE ESPAÑA – Ministerio de Agricultura y Pesca (MAPA).

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS (2005): Cartografía Eólica de Canarias

MOPU Y CABILDO INSULAR DE TENERIFE (1979): Plan de Balsas del Norte de Tenerife.

PROYECTO CANARIAS SPA-15

SYNCONSULT Y AICASA (1987): Estudio de los Consumos y Necesidades Hídricas Agrarias de las Islas Canarias

ÍNDICE

BLOQUE 1º
INTRODUCCIÓN Y DATOS GENERALES

CAPÍTULO I 17
INTRODUCCIÓN 17
I.1. DE LA CONSTRUCCIÓN DEL MHSup DE TENERIFE 19
I.2. ACERCA DEL DOCUMENTO 19
I.2.1. Objetivos principal y generales 19
I.2.2. Contenido y estructura 20
I.2.3. Del texto escrito 21
I.2.4. De la documentación fotográfica 21

CAPÍTULO II 23
DATOS GENERALES 23
II.1. LA ISLA DE TENERIFE. ASPECTOS GENERALES 23
II.1.1. El relieve insular 23
II.1.2. Características geológicas e hidrogeológicas 25
II.1.3. Clima 25
II.2. EL MODELO «LLUVIA-INFILTRACIÓN» DE TENERIFE 25
II.3. PECULIARIDADES DE LA HIDROLOGÍA INSULAR 26
II.4. LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA EN LA ISLA 27
II.4.1. De la base de datos climatológicos 28
II.4.2. De los datos históricos 28
II.4.3. La red inicial 29
II.4.4. La red del Proyecto Canarias SPA-15 29
II.4.5. La red del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias 29
II.4.6. La red del Área de Medio Ambiente del Cabildo 30
II.4.7. La red de montes del ICONA 30
II.4.8. La red de AGROCABILDO 30
II.4.9. La red del Patronato del Parque Nacional del Teide 31
II.4.10. Evolución histórica 31
II.4.11. La red actual de observación meteorológica 31
II.5. LA RED DE DRENAJE NATURAL 32
II.5.1. Las cuencas hidrográficas 32
II.5.2. Los cauces de barranco 34

BLOQUE 2º
LOS RECURSOS ATMOSFÉRICOS Y LOS RECURSOS SUPERFICIALES EN EL BHI

CAPÍTULO III 37
LA LLUVIA DIRECTA, CONVENCIONAL O VERTICAL 37
III.1. LA LLUVIA COMO RECURSO ATMOSFÉRICO 37
III.2. DE LA CALIDAD DE LOS REGISTROS DE LLUVIA 38
III.2.1. De las estaciones de lectura diaria 38
III.2.2. De las estaciones automáticas 39
III.2.3. De las estaciones totalizadoras 39
III.2.4. Tratamiento y aprovechamiento de los datos pluviométricos 40
III.3. DE LA EXTENSIÓN DE LAS SERIES DE REGISTROS 41
III.3.1. Introducción 41
III.3.2. Las estaciones históricas 41
III.3.3. Análisis estadístico de la Precipitación media insular. 43
III.3.4. De la representatividad de las series de registros de lluvia. 44
III.3.5. Conclusiones. 44
III.4. LA NIEVE 45
III.5. COBERTURA Y DENSIDAD DE LA RED PLUVIOMÉTRICA 45
III.5.1. De la cobertura de las redes pluviométricas. Aspectos generales 46
III.5.2. De la densidad de las redes pluviométricas. Aspectos generales 46
III.5.3. De la cobertura y densidad de la red pluviométrica de Tenerife 47
III.6. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LA RED PLUVIOMÉTRICA 48
III.6.1. La Red inicial 48
III.6.2. La Red de Montes 50
III.6.3. Las nuevas Redes 50
III.6.4. La Red Pluviométrica Actual 51
III.7. LA PLUVIOMETRÍA HISTÓRICA MEDIA INSULAR 52
III.7.1. Distribución temporal 52
III.7.2. Distribución territorial 53
III.8. LAS PRECIPITACIONES EXTREMAS 53
III.9. LOS TEMPORALES EXTRAORDINARIOS 54
III.9.1. De su representación gráfica 54
III.9.2. Inventario 54
III.10. LOS TEMPORALES «TIPO» 56
III.10.1. Comentarios previos 56
III.10.2. Los temporales del NORTE 56
III.10.3. Los temporales del SUR 57

III.10.4. Los temporales de «gota fría» o DANAS 58
III.11. RELACIÓN DE LA LLUVIA CON LA OROGRAFÍA INSULAR 59
III.11.1. Aspectos generales 59
III.11.2. Aspectos locales 59
III.11.3. De la inversión del gradiente pluviométrico 60
III.11.4. Del gradiente pluviométrico en el recinto de Las Cañadas 61
III.11.5. Reparto altitudinal de la lluvia en otras islas del Archipiélago 62
III.12. CONSIDERACIONES FINALES 64

CAPÍTULO IV 65
LA LLUVIA HORIZONTAL 65
IV.1. LA «PAN» EN EL CICLO HIDROLÓGICO 65
IV.2. LA «PAN» COMO RECURSO HÍDRICO INSULAR 66
IV.3. FACTORES CONDICIONANTES DE La «PAN» 67
IV.4. DEFINICIÓN 67
IV.4.1. Distribución temporal 68
IV.4.2. Distribución territorial 68

CAPÍTULO V 69
LA LLUVIA «TOTAL» EN LA ISLA 69
V.1. INTRODUCCIÓN 69
V.2. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL 69
V.3. DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL 70

CAPÍTULO VI 71
LA TEMPERATURA INSULAR 71
VI.1. INTRODUCCIÓN 71
VI.2. EVOLUCIÓN DE LA RED TERMOMÉTRICA 71
VI.2.1. La Red inicial 71
VI.2.2. La Red de «Montes» 71
VI.2.3. La Red actual 72
VI.2.4. Análisis estadístico de la temperatura media insular a partir de las estaciones históricas. 72
VI.2.5. La temperatura media insular. 74
VI.2.6. El gradiente termométrico 74
VI.3. La HUMEDAD RELATIVA 75
VI.3.1. Conceptos 75
VI.3.2. Evolución de la red de control de humedad relativa 76
VI.4. LA VELOCIDAD DEL VIENTO 77
VI.4.1. Conceptos 77

VI.4.2. La red de control de velocidad del viento 77
VI.4.1. La altura de medición de la velocidad del viento 78
VI.4.2. Relación entre la velocidad del viento y la altura topográfica 78
VI.4.3. Distribución territorial de la velocidad del viento 79
VI.5. LA INSOLACIÓN 80
VI.5.1. Introducción 80
VI.5.2. Estaciones con medidas de insolación. 80
VI.6. LA RADIACIÓN SOLAR 80
VI.6.1. Conceptos 80
VI.6.2. La red de control de la Radiación Solar 81
VI.6.3. Distribución territorial de la Radiación solar 81

CAPÍTULO VII 83
EL BALANCE HÍDRICO 83
VII.1. CONCEPTOS 83
VII.2. EL BALANCE HÍDRICO INSULAR DE SUPERFICIE 84
VII.2.1. Planteamiento 84
VII.2.2. La construcción del BHI en el tiempo 84
VII.2.3. Representatividad 85
VII.2.4. Balance «histórico» y balance «actual» 86
VII.3. EL BALANCE HÍDRICO INSULAR MEDIO «HISTÓRICO» 87
VII.4. EL BALANCE HÍDRICO INSULAR MEDIO «ACTUAL» 87
VII.5. DE LOS VALORES DE LOS ELEMENTOS DEL BHI 88

CAPÍTULO VIII 89
LOS BALANCES HÍDRICOS «HISTÓRICOS» EN LA ISLA 89
VIII.1. COMENTARIOS PREVIOS 89
VIII.2. RELACIÓN Y CONTRASTE EN EL TIEMPO DE LOS «BHI» 89
VIII.2.1. Los BHI históricos «manuales» 90
VIII.2.2. Los BHI históricos del «MHSup» 90
VIII.2.3. Los BHI actuales del MHSup 90
VIII.2.4. Análisis y contraste de los BHI «históricos» 93
VIII.2.5. Análisis y contraste de los BHI «actuales» 94
VIII.2.6. Comentarios finales 94
VIII.3. La LLUVIA HORIZONTAL EN LOS BHI 95
VIII.3.1. La PAN en los BHI iniciales 95
VIII.3.2. La PAN en los primeros BHI construidos en el MHSup 95
VIII.3.3. La PAN en los últimos BHI construidos en el MHSup 96

CAPÍTULO IX 97
LOS RECURSOS SUPERFICIALES TERRESTRES 97
IX.1. LAS AGUAS SUPERFICIALES 97
IX.1.1. Las aguas subterráneas drenadas desde los acuíferos 97
IX.1.2. La aguas de escorrentía superficial 99
IX.1.3. Las aguas de escorrentía subálvea 99
IX.2. LOS CUATRO «RÍOS» HISTÓRICOS DE TENERIFE 100
IX.2.1. Consideraciones 100
IX.2.2. Algunas notas históricas 100
IX.2.3. Orígen de los avenamientos 102
IX.2.4. Estado actual 107
IX.3. COMENTARIOS FINALES 110

CAPÍTULO X 111
LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL 111
X.1. CONCEPTOS 111
X.1.1. La Escorrentía superficial 111
X.1.2. El Umbral de escorrentía 111
X.1.3. El Coeficiente de escorrentía 111
X.1.4. La escorrentía directa 111
X.1.5. La escorrentía indirecta 112
X.1.6. La escorrentía de ribera 112
X.1.7. Hidrograma 112
X.2. FACTORES CONDICIONANTES DE LA ESCORRENTÍA 113
X.2.1. Meteorológicos 113
X.2.2. Topográficos 113
X.2.3. Hidrogeológicos 113
X.2.4. Geomorfológicos 113
X.2.5. Antrópicos 114
X.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS 118
X.4. INDICADORES BÁSICOS 120
X.4.1. El umbral de escorrentía 120
X.4.1. El coeficiente de escorrentía 123
X.5. EL CURSO DE LAS ESCORRENTÍAS 124
X.5.1. La escorrentía circulante 124
X.5.2. La escorrentía que se infiltra 125
X.5.3. La escorrentía de ribera 125
X.5.4. La escorrentía derivada y almacenada 126
X.5.5. El Flujo de salida al Mar 126

X.6. LA ESCORRENTÍA EN EL BHI 127
X.7. EL CÁLCULO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DE AVENIDA 128
X.7.1. Los primeros «estudios» 128
X.7.2. Los procedimientos de cálculo al uso en los años setenta-ochenta 128
X.7.3. En la década de los años noventa 128
X.7.4. La Guía Metodológica de Caudales Máximos de Avenida 129
X.8. LOS ARRASTRES SÓLIDOS 129
X.8.1. Evaluación 130

CAPÍTULO XI 133
LA EVAPOTRANSPIRACIÓN 133
XI.1. CONCEPTOS 133
XI.1.1. La Evapotranspiración (ET) 133
XI.1.2. La Evapotranspiración Potencial (ETP) 133
XI.1.3. La Evapotranspiración de Referencia (ETo) 133
XI.1.4. La Evapotranspiración de Cultivo (ETc). 134
XI.1.5. La Evapotranspiración Real (ETR). 134
XI.1.6. El balance en el suelo 134
XI.2. LA ETP, LA ETo Y LA ETc 135
XI.2.1. Acerca del uso del término «Evapotranspiración Potencial» 135
XI.2.2. Acerca del uso de la ETo y la ETc en el medio hidrológico 135
XI.3. MÉTODOS DE CÁLCULO 136
XI.3.1. Consideraciones previas 136
XI.3.2. De la fórmula de Thornthwaite 137
XI.3.3. De otras fórmulas de cálculo de la ETP 138
XI.3.4. De la fórmula de Penman-Monteith 140
XI.3.1. Distribución temporal y territorial de la ETo y la ETc 141
XI.4. FACTORES QUE AFECTAN A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN 143
XI.4.1. La permanencia del agua de lluvia en superficie 143
XI.4.2. La participación de lluvia horizontal en el BHI 146
XI.4.3. La gran variedad edafológica insular 146
XI.4.4. Medidas correctoras 147
XI.5. LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL 148
XI.5.1. Evaluación 148
XI.5.2. Distribución temporal de la ETR 148
XI.5.3. Distribución territorial de la ETR 149
XI.6. DE LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO EDÁFICO 150
XI.6.1. El ciclo anual del agua de reserva 150

CAPÍTULO XII 151
LA INFILTRACIÓN 151
XII.1. EL AGUA EN EL SUELO. CONCEPTOS 151
XII.1.1. El agua de la Capa Edáfica 151
XII.1.2. El agua de la zona No Saturada 151
XII.1.3. El agua de la franja Capilar 151
XII.1.4. El agua de la zona Saturada 152
XII.2. EL AGUA DE RECARGA 152
XII.2.1. Factores determinantes 152
XII.2.2. La Velocidad de Infiltración 158
XII.2.3. Distribución territorial de la Recarga 159
XII.2.1. Distribución temporal de la Recarga 160
XII.3. CONSIDERACIONES FINALES 160

CAPÍTULO XIII 161
EL CICLO DEL AGUA EN LA ISLA 161
XIII.1. EL CICLO HIDROLÓGICO 161
XIII.2. EL CICLO TOTAL DEL AGUA 162
XIII.3. BALANCE EN EL MULTIACUÍFERO INSULAR 164

BLOQUE 3º
LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS EN TENERIFE

CAPÍTULO XIV 167
LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS 167
XIV.1. ANÁLISIS Y ESTUDIOS HIDROLÓGICOS 167
XIV.2. LOS PLANES Y LOS GRANDES PROYECTOS CIENTÍFICOS 168
XIV.2.1. Introducción 168
XIV.3. UN POH EN 1916: «ESTUDIOS SOBRE RIEGOS» 169
XIV.3.1. Introducción 169
XIV.3.2. Contenido 169
XIV.3.3. Comentarios 171
XIV.4. ESTUDIO DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS EN LAS ISLAS CANARIAS -(1935) 172
XIV.4.1. Introducción 172
XIV.4.2. Contenido 172
XIV.5. EL PLAN INSULAR DE OBRAS HIDRÁULICAS – (1938) 174
XIV.5.1. Introducción 174
XIV.5.2. Objetivos 174
XIV.5.3. Propuestas 175

XIV.5.4. Disposiciones legales 176
XIV.6. EL PLAN DE OBRAS HIDRÁULICAS DE TENERIFE – (1960) 176
XIV.6.1. Introducción 176
XIV.6.2. Contenido 177
XIV.6.3. Comentarios 179
XIV.7. EL PLAN HIDRÁULICO DE TENERIFE – (1967) 179
XIV.7.1. Desarrollo del Plan 180
XIV.8. EL PROYECTO CANARIAS SPA-15 180
XIV.8.1. Evaluación de los elementos del BHI en el Proyecto 180
XIV.8.2. Resumen, Conclusiones y Recomendaciones 182
XIV.9. EL PROYECTO MAC-21 182
XIV.10. EL PLAN DE BALSAS DE TENERIFE 183
XIV.10.1. Datos generales 183
XIV.10.2. Análisis hidrológico 183
XIV.10.3. Balsas seleccionadas 184
XIV.10.4. Gestión de las Infraestructuras 184
XIV.10.5. Nuevas balsas adscritas a BALTEN 186
XIV.11. EL PLAN HIDROLÓGICO INSULAR (PHI-1995) 187
XIV.12. EL PLAN HIDROLÓGICO DE TENERIFE (PHT–2015) 189

CAPÍTULO XV 189
ANÁLISIS Y ESTUDIOS LOCALES RELATIVOS A LAS VARIBLES CLIMÁTICAS 191
XV.1. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO EN EL VALLE DE LA OROTAVA 191
XV.1.1. Planteamiento 191
XV.1.2. Resultados y Conclusiones 191
XV.1.3. Comentarios y Discusión 192
XV.2. EL BOSQUE Y EL AGUA EN CANARIAS 193
XV.2.1. Planteamiento 193
XV.2.2. Resultados y Conclusiones 193
XV.2.3. Comentarios 194
XV.3. LOS ALUMBRAMIENTOS DE AGUA EN TENERIFE 195
XV.4. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE BASE EN LA ISLA DE TENERIFE 196
XV.5. CLIMA Y VEGETACIÓN EN TENERIFE. CON ESPECIAL ATENCIÓN A LA PRECIPITACIÓN DE NIEBLA 196
XV.6. LA LLUVIA, UN RECURSO NATURAL PARA CANARIAS 196
XV.7. LA CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA EN TENERIFE 197
XV.8. HIDROLOGÍA Y RECURSOS HIDRÁULICOS EN ISLAS Y TERRENOS VOLCÁNICOS 197
XV.9. LOS ANÁLISIS CLIMÁTICOS DE AGROCABILDO 198

BLOQUE 4º
EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

CAPÍTULO XVI 201
TIPOS DE APROVECHAMIENTO 201
XVI.1. ALGUNAS NOTAS HISTÓRICAS 201
XVI.2. LOS AZUDES O TOMADEROS 201
XVI.2.1. De captación de aguas de manantiales. 201
XVI.2.2. De captación de aguas de escorrentía generadas con la lluvia 203
XVI.2.3. Relación 205
XVI.3. LAS PRESAS 205
XVI.4. LAS BALSAS 206
XVI.5. DERIVACIÓN Y ALMACENAMIENTO: CAPACIDAD 207
XVI.5.1. Para las Aguas de Escorrentía Superficial. 207
XVI.5.2. Para las Aguas Superficiales de Origen Subterráneo 206
XVI.6. VOLÚMENES APROVECHADOS 206
XVI.6.1. Aguas Superficiales de Origen Subterráneo 208
XVI.6.2. Aguas de Escorrentía Superficial. 208
XVI.7. DISPONIBILIDAD Y APROVECHAMIENTO 208

CAPÍTULO XVII 209
LAS PRESAS DE TENERIFE 209
XVII.1. LAS PEQUEÑAS PRESAS 209
XVII.2. LAS GRANDES PRESAS 209
XVII.3. LAS PRESAS DE ANAGA 212
XVII.3.1. Introducción 212
XVII.3.2. Las presas del barranco de «Agua de Dios» o de «Las Tapias» 212
XVII.3.3. Las presas del barranco de Santos 213
XVII.3.4. La presa de Tahodio 214
XVII.3.5. Las otras presas de Anaga 215
XVII.4. APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN LA PRESA DE AGUAMANSA 217
XVII.4.1. Datos generales 218
XVII.4.2. Datos de explotación 220

CAPÍTULO XVIII 221
LAS BALSAS DE TENERIFE 221
XVIII.1. GENERALIDADES 221

XVIII.2. LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS PARA EL PBNT 224
XVIII.2.1. Comentarios previos **224**
XVIII.2.2. Planteamiento 224
XVIII.2.3. Información de base y operaciones previas 225
XVIII.2.4. Construcción de hidrogramas 226
XVIII.2.5. Cálculo de las aportaciones circulantes 227
XVIII.2.6. Cálculo de las aportaciones derivadas 227
XVIII.2.7. Definición de la capacidad del conducto de derivación 228
XVIII.2.8. Estudios de regulación en balsas 228
XVIII.2.9. Comentarios finales 228
XVIII.3. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «MONTAÑA DE TACO» 229
XVIII.3.1. La balsa de Montaña de Taco 229
XVIII.3.2. Primer proyecto de aprovechamiento 229
XVIII.3.3. Esquema del aprovechamiento final 230
XVIII.3.4. Cuencas hidrográficas aportadoras de escorrentías 231
XVIII.3.5. Aprovechamiento conjunto. 233
XVIII.3.6. Datos de explotación. 234
XVIII.4. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «VALLE MOLINA» 235
XVIII.4.1. La balsa de Valle Molina 235
XVIII.4.2. Esquema del aprovechamiento 236
XVIII.4.3. Cuencas hidrográficas aportadoras de escorrentía 238
XVIII.4.4. Datos de explotación. 239
XVIII.5. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «BCO. BENIJOS» 240
XVIII.5.1. La cuenca aportadora de escorrentias 240
XVIII.5.2. Datos de explotación. 241
XVIII.6. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «LLANOS DE MESA» 242
XVIII.6.1. Datos de explotación. 242
XVIII.7. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «SAN ANTONIO» 243
XVIII.7.1. La cuenca aportadora y el tomadero. 244
XVIII.7.2. Datos de explotación. 245
XVIII.8. EL APROVECHAMIENTO DE LAS ESCORRENTÍAS URBANAS EN «OTRAS» BALSAS DE BALTEN 246
XVIII.8.1. La balsa de La Tabona 246

XVIII.8.2. La balsa de Cruz Santa 247
XVIII.9. EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LAS BALSAS DEL COMPLEJO HIDRÁULICO DE «VALLE DE SAN LORENZO» 248
XVIII.9.1. Introducción 248
XVIII.9.2. Datos de explotación 249
XVIII.10. L APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA BALSA DE «LA ATALAYA» 250
XVIII.11. CONSIDERACIONES FINALES 250
XVIII.11.1. Acerca de los estudios hidrológicos para el PBNT 250
XVIII.11.2. Acerca de los datos de explotación de las balsas 251

CAPÍTULO XIX 251
EMBALSES DE TITULARIDAD PÚBLICA PREVIOS AL PLAN DE BALSAS DEL NORTE DE TENERIFE 253
XIX.1. LA BALSA DE «EL SALTADERO» 253
XIX.2. LA PRESA DE «LOS CAMPITOS» 254
XIX.2.1. Antecedentes 254
XIX.2.2. Aprovechamiento de las escorrentías del barranco de Santos 255
XIX.3. LA PRESA DE «EL RÍO» 256

CAPÍTULO XX 259
TRES PROYECTOS COMARCALES DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES 259
XX.1. INTRODUCCIÓN 259
XX.2. LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS 259
XX.2.1. Información de base y operaciones previas 259
XX.2.2. Construcción de hidrogramas 259
XX.2.3. El umbral de escorrentía 262
XX.2.4. Procedimiento de cálculo: Modelo Matemático 262
XX.2.5. Resultados. Datos de salida del Modelo 263
XX.3. EL PROYECTO TEN-ADE 263
XX.3.1. Objetivos 263
XX.3.2. Infraestructuras hidráulicas proyectadas 264
XX.3.3. Esquema del aprovechamiento de las aguas de escorrentía 266
XX.3.4. El aprovechamiento Sur 266
XX.3.5. El aprovechamiento Norte 270
XX.4. EL PLAN OPERATIVO DE LOS CAMPITOS 273
XX.4.1. Objetivos 274

XX.4.2. Aprovechamiento Directo 274
XX.4.3. Aprovechamientos Indirectos 277
XX.4.4. Datos de explotación 279
XX.5. EL PROYECTO TREVEJOS 280
XX.5.1. Objetivos 280
XX.5.2. Infraestructuras hidráulicas proyectadas 280
XX.5.3. Cuencas a explotar 280
XX.5.4. La balsa de Trevejos 282
XX.5.5. Esquema del Aprovechamiento 283
XX.5.6. Escorrentía de ribera 283
XX.5.7. Análisis del Aprovechamiento 284
XX.5.8. Datos de explotación 286

CAPÍTULO XXI 287
EXPECTATIVAS DE NUEVOS APROVECHAMIENTOS 287
XXI.1. INTRODUCCIÓN 287
XXI.1.1. El agua que se «pierde» en el mar 287
XXI.1.2. Opciones de aprovechamiento de aguas superficiales 288
XXI.2. LAS PROPUESTAS DEL PROYECTO TEN-ADE 289
XXI.2.1. El Aprovechamiento Sur 289
XXI.2.2. El Aprovechamiento Norte 289
XXI.3. LAS PROPUESTAS DEL PROYECTO DE LOS CAMPITOS 290
XXI.3.1. Introducción 290
XXI.3.2. Nueva propuesta de aprovechamiento 290
XXI.4. LAS PROPUESTAS DEL PROYECTO TREVEJOS 291
XXI.4.1. Antecedentes 291
XXI.4.2. El Aprovechamiento actual 294
XXI.4.3. Nuevas opciones de aprovechamiento 295
XXI.5. EL APROVECHAMIENTO DE LAS ESCORRENTÍAS DEL BARRANCO DE LA MAGDALENA 295
XXI.5.1. El proyecto de la balsa de Lomo Chabeña 295
XXI.5.2. Descripción del aprovechamiento 297
XXI.6. LAS ESCORRENTÍAS DEL BARRANCO EL CHORRILLO 298
XXI.6.1. Descripción del aprovechamiento 298
XXI.7. LAS ESCORRENTÍAS DEL BARRANCO EL CUERVO 299
XXI.7.1. Descripción del aprovechamiento 299

CAPÍTULO XXII 301
LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL NO APROVECHADAS 301

XXII.1. INTRODUCCIÓN 301
XXII.2. CUENCAS HIDROLÓGICAS NO EXPLOTADAS 302
XXII.3. LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA EN LAS CUENCAS DE CABECERA DE ARICO 302
XXII.3.1. Características de las cuencas susceptibles de explotar 302
XXII.3.2. Propuesta de aprovechamientos 303
XXII.4. LA CONEXIÓN ISORA-AGACHE 304
XXII.5. EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA DE LAS CUENCAS URBANAS 306
XXII.5.1. Las aguas de escorrentía del núcleo urbano de La Cruz Santa 306

BLOQUE 5º
EL MODELO «LLUVIA–INFILTRACIÓN» PARA LA SIMULACIÓN DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL EN LA ISLA DE TENERIFE

CAPÍTULO XXIII 309
EL MHSUP. INTRODUCCIÓN 309
XXIII.1. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL MHSup 309
XXIII.1.1. Antecedentes 309
XXIII.1.2. Primera Versión del MHSup 310
XXIII.1.3. Segunda Versión del MHSup 311
XXIII.1.4. Tercera Versión del MHSup 311
XXIII.1.5. Cuarta Versión del MHSup 312
XXIII.1.6. Quinta Versión del MHSup 312
XXIII.2. ESTADO DE DIVULGACIÓN DEL MHSup 313
XXIII.2.1. Primeras publicitaciones 313
XXIII.2.2. En el Plan Hidrológico Insular 313
XXIII.2.3. Cuestiones a debatir 313
XXIII.3. ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA 314
XXIII.4. EL MODELO CONCEPTUAL 315
XXIII.4.1. Planteamiento general 315
XXIII.4.2. El modelo «Lluvia–Infiltración» de Tenerife 315
XXIII.4.3. Las variables climáticas 318
XXIII.4.4. Los parámetros de caracterización 318
XXIII.5. EL MODELO DE DATOS 319
XXIII.5.1. Parámetros Hidrológicos 319
XXIII.5.2. Parámetros Específicos del Suelo 320
XXIII.5.3. Parámetros Específicos del Territorio 320

XXIII.5.4. Parámetros Específicos de la Vegetación. 320
XXIII.5.5. Parámetros Hidráulicos. 321
XXIII.5.6. Variables del Clima. 321
XXIII.5.7. Estaciones virtuales. 322
XXIII.5.8. Tablas y Mapas Temáticos. 322
XXIII.5.9. Características Topológicas de las Celdas 322
XXIII.5.10. Celdas Sumidero. 322
XXIII.6. EL MODELO MATEMÁTICO 323
XXIII.6.1. Discretización de la isla y de las cuencas hidrográficas. 323
XXIII.6.2. Premisas de partida. 323
XXIII.6.3. Tratamiento de las variables climáticas. 324
XXIII.6.4. Asignación de series climáticas a celdas. 325
XXIII.7. SECUENCIA EXPOSITIVA DEL PROCESO DE CÁLCULO 325
XXIII.8. EL SUBMODELO MATEMÁTICO DE SIMULACIÓN DE LA LLUVIA HORIZONTAL 326

CAPÍTULO XXIV 326
PARÁMETROS DE MODELIZACIÓN 326
XXIV.1. INVENTARIO 326
XXIV.2. EL UMBRAL DE ESCORRENTÍA (PØ) 326
XXIV.2.1. Introducción 326
XXIV.2.2. Definición 328
XXIV.2.3. Evaluación 329
XXIV.2.4. Valores de PØ en los suelos de Tenerife 331
XXIV.3. EL UMBRAL DE INFILTRACIÓN EN CAUCES (IØ) 333
XXIV.3.1. Consideraciones 333
XXIV.3.2. Definición 334
XXIV.3.3. Evaluación 334
XXIV.4. EL COEFICIENTE DE EVAPORACIÓN (KE) 334
XXIV.4.1. Introducción 334
XXIV.4.2. La Densidad de Vegetación (DV) 335
XXIV.4.3. Evaluación del Coeficiente de Evaporación 336
XXIV.5. EL AGUA DISPONIBLE EN EL SUELO 337
XXIV.6. LA RESERVA MÁXIMA DE AGUA EN EL SUELO (RX) 337
XXIV.6.1. Evaluación 337
XXIV.7. EL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE AGUA (KR) 338
XXIV.7.1. Definición 338
XXIV.7.2. Evaluación 339
XXIV.8. EL COEFICIENTE DE CULTIVO O DE VEGETACIÓN 340
XXIV.8.1. Evaluación 340

CAPÍTULO XXV 343
VARIACIÓN EN EL TIEMPO DEL VALOR DE LOS PARÁMETROS ESPECÍFICOS DE LA ESCORRENTÍA 343
XXV.1. INTRODUCCIÓN 343
XXV.2. EL MES Y EL DÍA COMO LAPSOS OPERATIVOS 343
XXV.2.1. Consideraciones 343
XXV.2.2. Desagregación de la lluvia mensual en aguaceros diarios 344
XXV.3. PØ Y EL ESTADO DE HUMEDAD DEL SUELO 345
XXV.3.1. Los estados de humedad del suelo 345
XXV.3.2. PØ y los estados de humedad en las cuencas insulares 346
XXV.3.1. PØ y los estados de humedad en una cuenca piloto 347
XXV.3.2. Otras experiencias 351
XXV.4. EL UMBRAL DE ESCORRENTÍA DEL MES (PØ(m)) 352
XXV.4.1. Concepto 352
XXV.4.2. La humedad aportada al suelo por la PAN 352
XXV.4.3. La humedad aportada al suelo por la PC 353
XXV.4.4. El umbral de escorrentía del mes: **PØ**(m) 355
XXV.4.5. Consideraciones finales 355
XXV.5. PØ APLICABLE A LOS AGUACEROS DIARIOS 356
XXV.6. IØ Y LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL CAUCE 357
XXV.6.1. Evaluación 357
XXV.6.2. Variación del valor de IØ con el suceso de las avenidas 358

CAPÍTULO XXVI 361
LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN EL MHSUP 361
XXVI.1. INTRODUCCIÓN 361
XXVI.2. IDENTIFICACIÓN DE CELDAS 361
XXVI.3. LA ESCORRENTÍA GENERADA EN CADA CELDA (EP) 362
XXVI.3.1. Proceso de cálculo 362
XXVI.3.2. Desagregación de la PC Mensual en Aguaceros Diarios 362
XXVI.3.3. Escorrentía generada por cada aguacero dentro de la celda 362
XXVI.4. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN CELDAS CABECERA DE CAUCE 364
XXVI.4.1. Flujo de entradas total: FET(m,n) 364
XXVI.4.2. Flujo de salida total: FST(m,n) 364
XXVI.5. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN CELDAS INTERNAS SIN DESCARGAS DE RAMALES O SUBRAMALES 366
XXVI.5.1. Flujo de entrada total: FET(m,n) 366
XXVI.5.2. Flujo de salida total: FST(m,n) 367

XXVI.6. LAS DESCARGAS DE LOS RAMALES Y SUBRAMALES 368
XXVI.6.1. Agua de Descarga 368
XXVI.6.2. Flujo de entrada total a una celda: FET(m,n) 368
XXVI.6.3. Flujo de salida total desde una celda: FST(m,n) 369
XXVI.7. DERIVACIÓN Y ALMACENAMIENTO 370
XXVI.7.1. Introducción 370
XXVI.7.2. Aprovechamiento directo de las aguas de escorrentía 371
XXVI.7.3. Aprovechamiento indirecto de las aguas de escorrentía 372
XXVI.7.4. Distribución de las escorrentías derivadas en las balsas 373
XXVI.8. LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA EN LAS CELDAS SUMIDERO 374
XXVI.9. CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA CUENCA A CUENCA 374

CAPÍTULO XXVII 375
LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN EL MHSUP 375
XXVII.1. LA ETP EN EL MHSup ORIGINAL 375
XXVII.1.1. Introducción 375
XXVII.1.2. Cálculo de la ETP a partir de la fórmula de Thornthwaite 376
XXVII.1.3. Ajuste del valor de la ETP calculado según Thornthwaite 376
XXVII.1.4. De la fiabilidad del procedimiento 377
XXVII.2. LA ETP EN EL MHSup ACTUAL 378
XXVII.2.1. Introducción 378
XXVII.2.2. El método de Thornthwaite «corregido» 379
XXVII.2.3. El método FAO Penman-Monteith para el cálculo del ETo 381
XXVII.2.4. El método Hargreaves para el cálculo del ETo 382
XXVII.2.5. El coeficiente de cultivo (Kc) 382
XXVII.2.6. La ETP corregida a partir de Kcc 384

CAPÍTULO XXVIII 385
EL BALANCE EN EL SUELO 385
XXVIII.1. INTRODUCCIÓN 385
XXVIII.2. LA ETP EN EL «BAS» 386
XXVIII.2.1. Número de días efectivos de Evaporación 386
XXVIII.2.2. ETP = Evaporación (EV) + Transpiración (TR) 387
XXVIII.3. ESTRUCTURA DEL BAS 388
XXVIII.3.1. Consideraciones 388
XXVIII.3.2. Periodicidad 388
XXVIII.3.3. Variables y Parámetros 389
XXVIII.3.4. Premisas de partida 389
XXVIII.4. PROCESO DE CÁLCULO 389

XXVIII.4.1. Introducción 389
XXVIII.4.2. El BAS en celdas «normales» (IØ≠275) 390
XXVIII.4.3. El BAS en las celdas SUMIDERO (IØ=275) 392
XXVIII.5. LA EVAPOTRANSPIRACIÓN «REAL» (ETR) Y LA PRECIPITACIÓN EFICAZ (PE) 395

CAPÍTULO XXIX 397
LA INFILTRACIÓN EFECTIVA DEDUCIDA DE LA RESOLUCIÓN DEL BHI EN EL MHSUP 397
XXIX.1. RESOLUCION DEL BHI 397
XXIX.2. EL AGUA DE RECARGA 397
XXIX.2.1. Concepto 397
XXIX.2.2. Evaluación 397
XXIX.2.3. Consideraciones finales 398

CAPÍTULO XXX 399
LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO Y LAS MODIFICACIONES EN LA RDT EN EL PROCESO OPERATIVO DEL MHSup 399
XXX.1. INTRODUCCIÓN 399
XXX.2. ACTUALIZACIÓN DE PARÁMETROS EN EL MHsup 400
XXX.2.1. Los cambios de uso en el suelo 400
XXX.2.2. El cubrimiento e impermeabilización de cauces 400
XXX.2.3. El desvío de cauces 401
XXX.2.4. La captación de las aguas de escorrentía 402
XXX.2.5. Los incendios forestales, la repoblación o la deforestación. 402
XXX.3. COMENTARIO FINAL 402

CAPÍTULO XXXI 403
CALIBRACIÓN Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 403
XXXI.1. VARIABLES Y PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN 403
XXXI.1.1. Del grado de definición de las variables climáticas 403
XXXI.1.2. De la definición de los parámetros de caracterización 404
XXXI.1.3. Herramienta de calibración 405
XXXI.2. CALIBRACIÓN DE LA ESCORRENTÍA 407
XXXI.2.1. Controles de referencia para la calibración de la Escorrentía 407
XXXI.3. CONTROLES INDIRECTOS DE LA INFILTRACIÓN 408
XXXI.3.1. Cuencas hidrográficas de observación 408
XXXI.3.2. Las cuencas endorréicas de Las Cañadas del Teide 409
XXXI.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 412

BLOQUE 6º
EL CAMBIO CLIMÁTICO EN TENERIFE

CAPÍTULO XXXII 415
EL CAMBIO CLIMÁTICO 415
XXXII.1. INTRODUCCIÓN 415
XXXII.2. CONCEPTOS 416
XXXII.3. INDICADORES 416
XXXII.3.1. El aumento de la temperatura 416
XXXII.3.2. Variación del régimen de precipitaciones 418
XXXII.4. ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE EL MHSup 419
XXXII.4.1. Introducción 419
XXXII.4.2. Las variables climáticas 419
XXXII.4.3. Las variables hidrológicas 422
XXXII.4.4. Los Caudales Máximos de Avenida 424
XXXII.4.5. Los Recursos Superficiales Terrestres 424
XXXII.4.6. El Aprovechamiento de los Recursos Superficiales. 425
XXXII.4.7. Conclusión general 425

CAPÍTULO XXXIII 427
COMENTARIOS FINALES 427
XXXIII.1. EL MHSUP: HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN 427
XXXIII.2. EL FUTURO DE LOS RECURSOS CONVENCIONALES 428

BLOQUE COMPLEMENTARIO
LA RED DE DRENAJE TERRITORIAL

CAPÍTULO I 431
LA RED DE DRENAJE TERRITORIAL 431
I.1. INTRODUCCIÓN 431
I.2. DEFINICIÓN 431
I.3. LOS CAUCES 432
I.3.1. Definición 432
I.3.2. Jerarquización 432
I.3.3. Las zonas adscritas a los cauces 433
I.3.4. los cauces naturales 435
I.3.5. los cauces artificiales 435
I.4. GESTIÓN, CONTROL Y VIGILANCIA DE LA RED DE DRENAJE TERRITORIAL 436

CAPÍTULO II 439
LAS CANALIZACIONES ARTIFICIALES DE CAUCES 439
II.1. INTRODUCCIÓN 439
II.1.1. Conceptos 439
II.2. CAUCES QUE DISCURREN ENTRE «MUROS» 440
II.2.1. Afecciones 442
II.3. CAUCES CANALIZADOS 443
II.3.1. Normativa aplicable 444
II.3.2. Algunas referencias históricas 444
II.3.3. Encauzamientos abiertos 446
II.3.4. Encauzamientos cerrados 446
II.3.5. Cauces canalizados en cruces con viales 447
II.3.6. Afecciones a la hidrología insular 448
II.3.7. Afecciones y daños estructurales 449
II.3.89. Medidas correctoras 450
II.4. CAUCES EXCAVADOS EN «ZANJA» 453
II.5. CAUCES USADOS COMO «VÍALES» 454
II.5.1. Afecciones a la hidrología insular 455
II.5.2. Afecciones y daños estructurales 455
II.5.3. Medidas correctoras 456
II.6. CAUCES «DESPLAZADOS» DE SU TRAZA ORIGINAL 456
II.7. CAUCES «DESVIADOS» HACIA OTROS CAUCES 458
II.7.1. Afecciones a la hidrología insular 459
II.7.2. Afecciones y daños estructurales 461
II.7.3. Medidas correctoras 461
II.8. VÍAS DE DESAGÜE TERRITORIAL **461**
II.8.1. Concepto 461
II.9. LAS REDES URBANAS DE PLUVIALES **462**
II.9.1. Concepto 462

CAPÍTULO III 463
ACTUACIONES COMPATIBLES CON LA RDT 463
III.1. TIPOLOGÍA 463
III.2. AZUDES Y CUENCOS PARA LA RETENCIÓN DE ACARREOS 463
III.2.1. Concepto 463
III.3. ELEMENTOS ESTABILIZADORES DE CAUCES 466
III.4. TRATAMIENTOS DE REGULARIZACIÓN EN CAUCES 466
III.5. INTERCEPTORES DE ESCORRENTÍAS DE LADERA 467
III.5.1. Los canales perimetrales en laderas 467

III.5.2. Las cunetas de guarda en las vías de transporte 467
III.6. INTERCEPTORES DE ESCORRENTÍAS URBANAS 469
III.6.1. En cruces del viario urbano con los cauces 469
III.6.2. En los viales urbanos de largo recorrido 469
III.7. PRESAS DE EMBALSE, BALSAS Y TOMADEROS 470
III.8. LAS EXTRACCIONES DE ÁRIDOS 471
III.6.1. La extracción de áridos para su aprovechamiento 471
III.6.2. La extracción de áridos para la recuperación de la sección hidráulica de los cauces artificiales 471
III.9. GALERÍAS DE SERVICIO 472
III.10. PASATUBOS 472
III.8. CANALES DE DESAGÜE DE LAS ESCORRENTÍAS AL MAR 473
III.8.1. Concepto 473
III.8.2. Funcionalidad 473

CAPÍTULO IV 475
ACTUACIONES NO COMPATIBLES CON LA RDT 475
IV.1. INTRODUCCIÓN 475
IV.2. CRUCES Y TENDIDOS DE CONDUCTOS EN CAUCES 475
IV.2.1. Los conductos de trasvase 475
IV.2.2. Los «bajantes» 475
IV.2.3. Afecciones a la hidrología insular 476
IV.2.4. Afecciones y daños estructurales 476
IV.2.5. Medidas correctoras 476
IV.3. OCUPACIÓN DEL CAUCE Y ZONAS ADSCRITAS CON ELEMENTOS FIJOS 478
IV.3.1. Con infraesturas diversas 478
IV.3.2. Con «construcciones» permanentes 479
IV.4. EL USO DE LOS CAUCES COMO VERTEDERO 480

CAPÍTULO V 481
LOS CAUCES ARTIFICIALES EN EL ENTORNO URBANO Y MEDIOAMBIENTAL 481
V.1. NORMATIVA 481
V.2. OBRAS HIDRÁULICAS INTEGRADAS EN EL «MEDIO» 482

CAPÍTULO VI 489
LOS TEMPORALES DE LLUVIA Y SUS EFECTOS SOBRE LA RED DE DRENAJE TERRITORIAL 489
VI.1. DE LA GESTIÓN Y CONTROL DE ESTOS EVENTOS 489

VI.2. DOS TEMPORALES HISTÓRICOS 491
VI.2.1. el «Aluvión de San Dámaso» del día 11 de diciembre de 1645 491
VI.2.2. el temporal de lluvias de los días 7 y 8 de noviembre de 1826 492
VI.3. TEMPORAL DE DICIEMBRE DE 1922 494
VI.3.1. El suceso: descripción y consecuencias 494
VI.3.2. Medidas estructurales correctoras 495
VI.4. TEMPORAL DE MAYO DE 1944 495
VI.4.1. El suceso: descripción y consecuencias 495
VI5. TEMPORAL DE NOVIEMBRE DE 1950 496
VI.5.1. El suceso: descripción y consecuencias 496
VI.5.2. Medidas estructurales correctoras 497
VI.6. TEMPORAL DE NOVIEMBRE DE 1968 498
VI.6.1. El suceso: descripción y consecuencias 498
VI.6.2. Medidas estructurales correctoras 498
VI.7. TEMPORAL DE ABRIL DE 1977 499
VI.7.1. El suceso: descripción y consecuencias 499
VI.7.2. Medidas estructurales correctoras 499
VI.8. TEMPORAL DE MARZO DE 2002 500
VI.8.1. El suceso: descripción 500
VI.8.2. Afecciones hidrológicas y estructurales 501
VI.8.3. Medidas estructurales correctoras 503
VI.9. TEMPORAL DE DICIEMBRE DE 2002 504
VI.9.1. El suceso: descripción 504
VI.9.2. Afecciones hidrológicas y estructurales 505
VI.9.3. Medidas estructurales correctoras 505
VI.10. TEMPORAL DE ENERO DE 2007 506
VI.10.1. El suceso: descripción 506
VI.10.2. Afecciones hidrológicas y estructurales 506
VI.10.3. Medidas estructurales correctoras 507
VI.11. TEMPORAL DE NOVIEMBRE DE 2009 507
VI.11.1. El suceso: descripción 507
VI.11.2. Afecciones hidrológicas y estructurales 508
VI.12. TEMPORAL DE FEBRERO DE 2010 512
VI.12.1. El suceso: descripción 512
VI.12.2. Afecciones hidrológicas y estructurales 513
VI.12.3. Medidas estructurales correctoras 515
VI.13. TEMPORAL DE MARZO DE 2013 516
VI.13.1. El suceso: descripción 516

VI.13.2. Afecciones hidrológicas y estructurales 517
V.14. TEMPORALES DE DICIEMBRE DE 2013 519
V.14.1. Los sucesos: descripción 519
V.14.2. Afecciones hidrológicas y estructurales 520
V.14.3. Medidas estructurales correctoras 521
V.15. TEMPORAL DE NOVIEMBRE DE 2016 522

CAPÍTULO VI 523
HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL HIDROLÓGICO 523
VI.1. INTRODUCCIÓN 523
VI.2. EL MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO 523
VI.2.1. Introducción 523
VI.2.2. Descripción general 523
VI.2.3. El modelo como herramienta de pronóstico. 524
VI.3. LA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS DE AVENIDA 524
VI.3.1. Introducción 524
VI.3.2. Descripción general 524
VI.4. EL MÓDULO DE GESTIÓN DE TORMENTAS 526
VI.4.1. Introducción 526
VI.4.2. Descripción general 526

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balsa de Trevejos en Vilaflor (CIATF) 21
Figura 2. Barranco Las Torres y río de lava en el barranco Ftes. del Volcán. 22
Figura 3. Tenerife en su entorno geográfico Fuente: CIATF 23
Figura 4. Isla de Tenerife (Ortofoto PNOA) 24
Figura 5. Red oficial de Observación Meteorológica inicial 29
Figura 6. Red de control meteorológico de AGROCABILDO 30
Figura 7. Red actual de control meteorológico 31
Figura 8. Cuencas hidrográficas 33
Figura 9. Red de drenaje natural 34
Figura 10. Escurrido cortical y lluvia penetrante 37
Figura 11. Tres estaciones meteorológicas automáticas 39
Figura 12. Pluviómetro totalizador tipo ICONA 40
Figura 13. Año de implantación de las cuatro estaciones históricas de observación meteorológica 42
Figura 14. Mapas de isoyetas de la isal de La Palma del Proyecto SPA-15 y del PHLP 46
Figura 15. Mapas de isoyetas de la isla de La Gomera del Proyecto SPA-15 y del PHLG 47
Figura 16. Mapas de isoyetas de la isla de Tenerife: Proyecto SPA-15 y PHT 48
Figura 17. Evolución en el tiempo de la distribución territorial de la red pluviométrica 49
Figura 18. Red conjunta actual de estaciones que disponen de control pluviométrico 51
Figura 19. Reparto de la pluviometría media insular del período histórico 1944/45-2014/15 53
Figura 20. Mapa de isoyetas de noviembre de 1950 y noviembre de 1968 (L/m^2) 55
Figura 21. Temporales de abril de 1977 y 3 temporales de marzo de 2002 en el Valle de La Orotava (días 12 y 13); el Valle de Güimar (días 17 y 18) y la costa de Anaga Sur (día 31) (L/m^2) 55
Figura 22. Mapa de isoyetas de enero de 2007 y noviembre de 2009 (L/m^2) 55
Figura 23. Mapa de isoyetas de febrero de 2010 y marzo de 2013 (L/m^2) 55
Figura 24. Recorrido de los temporales del NE y del NW 56
Figura 25. El grueso de nubes de un temporal impactando con la montaña del Teide 57
Figura 26. Mapa de isoyetas de diciembre de 2002 y de febrero de 2004 (L/m^2) 58
Figura 27. Mapa de isoyetas de marzo de 1993 (L/m^2) 58
Figura 28. Esquemas de reparto altitudinal de la lluvia en varios perfiles de la isla 60
Figura 29. Distribución esquemática de la pluviometría en la franja central del norte de la isla 61
Figura 30. Distribución en altura de la lluvia en La Palma, Tenerife y Gran Canaria 62
Figura 31. Distribución en altura de las lluvias en las dorsales Oeste y Este de Tenerife 63

Figura 32. Isoyetas medias en los Valles de Icod y de La Orotava 64
Figura 33. La inversión térmica limita la cota del techo de las nubes 65
Figura 34. Parte del agua de niebla vuelve a la atmósfera por trnaspiración 66
Figura 35. Laderas de pequeñas vaguadas del Valle de El Palmar en Buenavista 67
Figura 36. Distribución territorial de la lluvia horizontal media del período 1985/86-2014/15 68
Figura 37. Distribución territorial de la Precipitación Total media del período 1985/86-2014/15 70
Figura 38. La red de control de temperatura en 1950 y en 1990 72
Figura 39. Red de control de temperaturas. Situación actual 72
Figura 40. Distribución territorila de la Temperatura media insular (ºC) 74
Figura 41. Distribución de la Temperatura de costa a cumbre 75
Figura 42. Estaciones de registro de Humedad Relativa en los años 1990 y 2017 76
Figura 43. Distribución territorial del número de días en los que HR supera el 96% 76
Figura 44. Velocidad media anual del viento (km/h y m/s) a 40 m de altura 78
Figura 45. Velocidad media anual del viento (km/h) a 2 m de altura 79
Figura 46. Estaciones de control meteorológico con registros de Radiación Solar 81
Figura 47. Distribución territorial de la Radiación Solar media 82
Figura 48. Distribución de la PAN e Tenerife. AGROCABILDO (1987) 96
Figura 49. Agua de galería con alto contenido en sales vertida al cauce de un barranco (CIATF) 98
Figura 50. Tres cortes hidrogeológicos 104
Figura 51.Corte hidrogeológica esquemático de los Nacientes de Abinque (CIATF) 105
Figura 52. Evolución histórica de los caudales de los nacientes de Abinque (CIATF) 107
Figura 53. Los nacientes de Abinque entre la densa vegetación del lecho del barranco (CIATF) 108
Figura 54. Escorrentías de cola del hidrograma del temporal de los días 2 y 3 de febrero de 1996 109
Figura 55. Hidrograma de avenida en el barranco de Agua de Dios 112
Figura 56. Alternancia de roca y materiales sueltos en el cauce de un barranco 114
Figura 57. Cauce del barranco de El Volcán o Fuentes del Volcán en Fasnia 114
Figura 58. Presas escalonadas a lo largo del cauce del barranco de Iboibo 115
Figura 59. Terrazas de cultivo en ambas márgenes de un barranco 115
Figura 60. Escombreras de galerías ocupando total o parcialmente el cauce de un barranco 116
Figura 61. Canal descubierto discurriendo por una ladera propicia para las escorrentías 116
Figura 62. Aspecto del cauce y laderas de un mismo barranco dentro y fura de un bosque 117
Figura 63. Escombrera invadiendo el cauce de un barranco 118
Figura 64. Esquema en alzado de la red de drenaje de la cuenca del barranco de Tamadaya 119

Figura 65. Escorrentías del barranco de Guasiegre a las 11h y a las 16h del 14/12/1995 121
Figura 66. Seguimiento de las escorrentías en el bco. de La Magdalena en Vilaflor 121
Figura 67. Seguimiento de las escorrentías en la presa de Tabares 122
Figura 68. Mapa de isolíneas de Umbrales de Escorrentía 123
Figura 69. Distribución territorial de la Escorrentía Circulante 124
Figura 70. Descarga media de la escorrentía al mar durante el período 1944/45-2014/15 126
Figura 71. Cauce del barranco de Tafuriaste después de la riada del 16/11/2009 130
Figura 72. Efectos de los arrastres sólidos en los cauces de los barrancos canalizados o naturales 131
Figura 73. Estados fenológicos de una planta con asignación de sus respectivos Kc (FAO) 136
Figura 74. Contraste de métodos para el cálculo de la ETP 139
Figura 75. Mapa de la ETP de Thornhwaite, corregida para hacerla equivalente a la de Penman-Monteith 140
Figura 76. Distribución actual (2017) de la red de estaciones meteorológicas completas 141
Figura 77. Distribución territorial de la Evapotranspiración de Refrencia (ETo) 142
Figura 78. Distribución territorial de la Evapotranspiración de Cultivo 142
Figura 79. Manto de lava al pie de Pico Viejo 143
Figura 80. Cañada de la Hoya del Montón de Trigo 145
Figura 81. Las Cañadas del Teide (CIATF) 146
Figura 82. Cartografía Edáfica. Mapa de Capacidad Máxima de Retención de Agua 147
Figura 83. Distribución territorial de la Evapotrnspiración Real media 149
Figura 84. Distribución del agua de Reserva en los suelos en los meses de agosto y enero 150
Figura 85. Zonificación del subsuelo 152
Figura 86. Alternacia de coladas de materiales de distinta estructura 155
Figura 87. Dos saltos donde ha desaparecido la roca de caja, aflorando materiales sueltos 156
Figura 88. Al pie de los saltos y en sus entornos es común que crezca una densa vegetación 156
Figura 89. Afloramiento de materiales impermeables en un cauce 157
Figura 90. Cartografía Edáfica. Mapa de la Velocidad de Infiltración (ULL) 158
Figura 91. Isolíneas de la Recarga media: 1944/45-2014/15 159
Figura 92. Ciclo completo del agua en la isla de Tenerife 163
Figura 93. Información climatológica entre 1906 y 2010 en la estación de Sta. Cruz 169
Figura 94. Pequeñas presas escalonadas en el barranco de Las Salinas - Adeje 172
Figura 95. Portada del documento POH-1938 174
Figura 96. Portada del documento POH-1960 177
Figura 97. Mapa de Infraestructuras de BALTEN y Zonificación de la Gestión 186
Figura 98. Centro de distribución de la Red Isla baja, que se

suministra de la Balsa de Mtña. de Taco 186
Figura 99. Distribución de la lluvia (PC+PAN)(año 1951) en el Valle de La Orotava. 194
Figura 100. Mapa de la Pluviometría Media Insular - ANUARIO DE ESTUDIOS ATLÁNTICOS 195
Figura 101. Diques «naturales» usados como tomaderos. 202
Figura 102. Tomaderos con obra de fábrica. 203
Figura 103. Tomadero con rejilla superior para evitar los arrastres sólidos. 204
Figura 104. Tomadero de compuerta anejo a la balsa (semiabandonada) y tomadero con canal de derivación hasta la infraestructura de almacenmaiento. 206
Figura 105. Presa de Ciguaña, en Granadilla con gran cantidad de depósitos en el vaso (CIMA) 204
Figura 106. Presa en el barranco de Iboibo (Adeje) y presa de Jimenez (San Miguel) 206
Figura 107. Balsa de La Atalaya (Adeje)y balsa de San Antonio (La Matanza) (CIATF y BALTEN)) 207
Figura 108. Presa y Charcas en Valle Guerra (Tejina - La Laguna) (Orto Express Urbana) 207
Figura 109. Pequeña Presa y gran Presa (El Río). (CIATF) 209
Figura 110. Presas en el barranco de Agua de Dios o de Las Tapias. (Orto Express) 212
Figura 111. Presa en Risco Grande en el barranco de Santos en Santa Cruz. 214
Figura 112. Presa de Tahodio 214
Figura 113. Presas en los barrancos de Anaga norte. (Orto Express) 216
Figura 114. A la misma escala, la presa de El Cuchillo y la de Valle Marcos (Orto Express) 216
Figura 115. Presa-Balsa de Aguamansa, con vistas aéreas desde aguas arriba y abajo (BALTEN). 217
Figura 116. Impermeabilización de la balsa de Aguamansa. 218
Figura 117. Cuencas vertientes a la presa de Aguamansa (BALTEN) 219
Figura 118. Balsas de Llanos de Mesa en San Juan de La Rambla, de Barranco Benijos y de Cruz Santa en La Orotava. (BALTEN) 221
Figura 119. Hidrograma sintético a partir del hietograma de un aguacero de T=9 horas. 226
Figura 120. Hidrograma total de avenida de un aguacero y escorrentías derivadas (directa, indirecta y de ribera) por un conducto de 2,5 m^3/s de capacidad. 227
Figura 121. Las balsas de Montaña de Taco y de Ravelo (a la izquierda de la imagen) 229
Figura 122. Esquema del aprovechamiento de recusos superficiales en la balsa de Montaña de Taco. 230
Figura 123. Cuencas hidrográficas de Monte del Agua (Los Silos), Talavera y El Palmar (Buenavista) 232
Figura 124. Tomadero de Las Lindas 232
Figura 125. La balsa de El Palmar y los tomaderos de Las Portelas. (BALTEN) 233

Figura 126. Tanquillas de Las Lindas y sifón entre el conducto colector y la balsa. 234
Figura 127. Balsa de Valle Molina y balsa de El Boquerón a la derecha de la imagen. 235
Figura 128. Tomadero de Valle Molina. Colector de las aguas de escorrentía que alimentan la balsa: 237
Figura 129. Esquema del aprovechamiento de agua de escorrentía en la balsa de Valle Molina. 235
Figura 130. Balsa de Barranco de Benijos (Fuente: BALTEN) 240
Figura 131. Avalancha de escombros acaecida el 16/11/2009 sobre la balsa de Bco. Benijos 241
Figura 132. Balsa de Llanos de Mesa (Fuente: BALTEN) 242
Figura 133. Balsa de San Antonio (Fuente: BALTEN) 243
Figura 134. Tomadero del barranco de San Antonio. 245
Figura 135. Volúmenes anuales medios de agua de escorrentía que se derivarían a la balsa de San Antonio con distintas capacidades del conducto de aducción y de almacenamiento 245
Figura 136. Balsas de La Florida y La Tabona y tomadero de El Remate (BALTEN) 246
Figura 137. Balsa de La Tabona y balsa de La Cruz Santa(Fuente: BALTEN). 247
Figura 138. Balsa de La Cruz Santa y conducción que une el tomadero de El Colegio (BALTEN) 247
Figura 139**.** Sistema hidráulico de BALTEN en Valle de San Lorenzo. 248
Figura 140**.** Balsa de Valle de San Lorenzo 248
Figura 141. Encauzamiento del bco. de Las Torres, balsa de La Atalaya y aliviadero al cauce (CIATF) 249
Figura 142. Tomadero del Monte del Agua colmatado de escombros (BALTEN)252
Figura 143. Labores de limpieza en el tomadero de Monte del Agua (BALTEN) 252
Figura 144. El tomadero del Monte del Agua una vez desescombrado (BALTEN) 252
Figura 145. Balsa de El Saltadero entre parcelas de invernadero y la cabecera Norte del Aeropuerto Reina Sofía. (Fuente: BALTEN) 254
Figura 146. Vaso y paramento interno de la presa de Los Campitos. 256
Figura 147. Paramentos de aguas arriba y de aguas abajo de la presa de El Río. (CIMA) 257
Figura 148. Hidrograma real en el bco. de Jardina (afluente del bco. de La Carnicería). 260
Figura 149. Hidrograma de escorrentía total reconvertido en una línea quebrada. 261
Figura 150. Hidrograma de un temporal de lluvia de varios días de duración. 262
Figura 151**.** Representación esquemática del Proyecto TEN ADE 265
Figura 152**.** Esquema de explotación de las escorrentías del Macizo de Teno. 266
Figura 153**.** Aprovechamiento Sur: aportaciones a derivar desde cada tomadero 268
Figura 154**.** Aprovechamiento Sur: opciones de explotación. 269
Figura 155**.** Balsa de Lomo del Balo (535.392 m^3) y EDAS de Tamaimo

(4.000 m³/día) 270
Figura 156. Esquema del Aprovechamiento Norte del Proyecto TEN-ADE 271
Figura 157. Cuencas hidrográficas analizadas en el Plan Operativo de Los Campitos. 273
Figura 158. Esquema general de actuaciones del Plan Operativo de Los Campitos. 273
Figura 159. Aportaciones de escorrentía del barranco de Santos que podrían ser aprovechadas en el embalse de Los Campitos con distintas capacidades del conducto de derivación y de almacenamiento 276
Figura 160. Aportaciones de escorrentía de los barrancos Tabares y Valle Jiménez 1 y 2 que podrían ser derivadas hasta el embalse de Los Campitos con distintas capacidades del conducto de aducción 276
Figura 161. Conexión del barranco de Las Canteras con el de Las Tapias. 278
Figura 162. Conexión de las Laderas de San Diego con el bco. de El Infierno a través de la galería La Bandera y tomaderos en cabera de la balsa de Valle Molina. 278
Figura 163. Conexión del bco. de El Bronco con el de Tabares a través de la galería El Gallo y tomaderos en bco. Santos y en los bcos. de Los Valles. 279
Figura 164. Cauces de los barrancos de El Cuervo y La Magdalena. 281
Figura 165. Balsa de Trevejo; en el borde derecho inferior el cauce del bco. de La Vica. (BALTEN) 282
Figura 166. Esquema general de actuaciones del Proyecto Trevejos. 283
Figura 167. Aprovechamiento Trevejos: Aportaciones que podrían haber sido derivadas desde cada tomadero con distintas capacidades del conducto de transporte durante el período 1969/70-1996/97 284
Figura 168. Aportaciones de escorrentía de las cuencas de Vilaflor que podrían ser aprovechadas en el embalse de Trevejos con distintas capacidades del conducto de derivación y de almacenamiento 287
Figura 169. Descarga media de escorrentía superficial al mar (hm³/año) 285
Figura 170. Aprovechamiento de las escorrentías de los bcos. de Los Valles en la balsa Valle Molina 290
Figura 171. Tomadero de Trevejos o de La Vica Baja (Fuente: BALTEN) 292
Figura 172. Dique intermedio de contención de acarreos en el barranco de La Vica Baja (BALTEN) 293
Figura 173. Tomadero superior –en el argot «*cogedera*»– en el barranco de La Vica Baja (Fuentes: CIATF y BALTEN) 294
Figura 174. Balsa de Lomo Chabeña en proyecto. (CIVILPORT) 296
Figura 175. Emplazamiento del tomadero del bco. La Magdalena y cuneta a derivar (CIVILPORT) 297
Figura 176. Actuaciones del Proyecto Balsa Chabeña y otras «propuestas». 298
Figura 177. Barranco de El Cuervo discurriendo entre rocas fonolíticas. 299
Figura 178. Escorrentías en los bcos de Guasiegre, Los Moriscos y Vijigua en Arico 301
Figura 179. Esquemas de las cuencas vertientes a los barrancos de

Los Caballos y de Icor (Arico). 303
Figura 180. Esquema del posible aprovechamiento de las escorrentías en tres barrancos de Arico 304
Figura 181. Arterias principales de transporte de agua en el sur de la isla y un posible nuevo conducto: Boca Cascajo-Chifira 305
Figura 182. Tomadero de El Colegio y balsa de La Cruz Santa en Los Realejos (BALTEN) 306
Figura 183. Rejilla en vial; toma en cuenta y tanquilla receptora de las escorrentías del casco urbano del núcleo de La Cruz Santa 306
Figura 184. Flujo del agua en el modelo SIMPA (superior) y en el MHSup de Tenerife (inferior) 317
Figura 185. Cuencas hidrográficas y detalle de la cuenca del bco de Santos. 323
Figura 186. Características geomorfológicas del barranco de Guasiegre (Arico) e imagen de detalle del cauce del barranco de Icor (Arico). 328
Figura 187. Mapa de Permeabilidades 331
Figura 188. Hoya al pie de un pequeño salto en el cauce del barranco de El Cuervo. 333
Figura 189. Tres parcelas de bosques de pinos 335
Figura 190.- Relación entre el K de evaporación y la densidad de vegetación. 336
Figura 191. Mapa de la Capacidad de Retención Máxima de Agua. 337
Figura 192. Función de relación entre KDR y la densidad de vegetación (DV) 338
Figura 193. Valores de la Profundidad Radicular en función de la altura de la planta. 339
Figura 194 Principales pisos de vegetación en la isla de Tenerife 340
Figura 195. Valores de PÆ en función del estado de humedad del suelo 346
Figura 196. Mapa de Umbrales de Escorrentía Característicos (PØ) 347
Figura 197. Controles del nivel de embalse en la presa deTabares 348
Figura 198. Distribución en aguaceros diarios de la lluvia entre octubre de 1992 y febrero de 1993 en la cuenca del barranco de Tabares350
Figura 199. Aguas de escorrentía en el barranco de La Magdalena (enero de 1996) 351
Figura 200. Cuenca del barranco de Santos discretizada en celdas de 200m • 200m. 361
Figura 201. Cuenca hidrográfica discretizada y celda de cabecera 362
Figura 202. Cuenca hidrográfica discretizada y celda interna 366
Figura 203. Cuenca hidrográfica discretizada y celda interna con ramales. 368
Figura 204. Cuenca hidrográfica discretizada y celda con aprovechamiento directo 371
Figura 205. Hidrogramas de avenidas relativas a «j» aguaceros diarios. 372
Figura 206. Laguna en la cuenca endorréica de la Cañada de Pedro Méndez. 374
Figura 207. Distribución de las estaciones termométricas y de las estaciones completas activas en Tenerife en el año 1990. 375
Figura 208. Distribución de las estaciones termométricas y de las estaciones completas en España 379
Figura 209. Distribución espacial de las estaciones termométricas

(izquierda) y de las estaciones completas (derecha) disponibles en Tenerife en el año 2017. 377
Figura 210. Zonificación del coeficiente corrector de la ETP de Thornthwaite. 380
Figura 211. Cañada de «Diego Hernandez». 383
Figura 212. Celda sumidero de las escorrentías generadas en la cuenca endorréica Llano de Ucanca. 392
Figura 213. Pantalla de edición de hipótesis en el Modelizador del MHSup. 401
Figura 214. Redes actuales de estaciones pluviométricas y de estaciones totales 404
Figura 215. Panel e informe de calibración parámetrica en celdas (GMC del MHSup) 406
Figura 216. Escorrentía del temporal del 2 y 3 de febrero de 1996 entrando a la presa de El Río. 408
Figura 217. Pequeña laguneta a los pies de un manto de lava y el Teide nevado 410
Figura 218. Contraste entre la pluviometría, la recarga y el nivel en el S-1 de la EAD 411
Figura 219. Temperaturas máximas y mínimas en la estación de Izaña. 417
Figura 220. Temperaturas medias mínimas de los meses de invierno en Izaña. 417
Figura 221. Número de días de nieve en el entorno de las Cañadas del Teide. 417
Figura 222. Coeficientes de variación móviles en la precipitación registrada en Izaña 418
Figura 223: Análisis tendencial de la Precipitación Convencional. 420
Figura 224. Análisis tendencial de la Precipitación Horizontal. 420
Figura 225. Análisis tendencial de la Temperatura media insular. 421
Figura 226. Análisis tendencial de la Evapotranspiración Potencial. 422
Figura 227. Análisis tendencial de la Evapotranspiración Real (1944/45-2014/15). 423
Figura 228. Análisis tendencial de la Infiltración Efectiva o Recarga. 423

BLOQUE COMPLEMENTARIO

Figura 1. Red de Drenaje Territorial de la isla de Tenerife. 432
Figura 2. Zonificación según el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (DPH) de Canarias 433
Figura 3. Delimitación física de la zona de dominio público hidráulico (D.P.H). 434
Figura 4. Zanjón excavado en el terreno; muros de viviendas haciendo de hastial y badén 440
Figura 5. Viviendas «abalconadas» sobre el cauce y/o con sus muros haciendo de márgenes (CIATF) 441
Figura 6. Bancales de cultivo e instalaciones varias ocupando ambas márgenes del barranco (CIATF) 441
Figura 7. Muros de contención de viales y de zonas ajardinadas en márgenes de barrancos (CIATF) 441
Figura 8. Cauces discurriendo entre muros de viviendas con soleras artificiales) 442
Figura 9. Elementos afectados con el paso de las riadas (CIATF 442

Figura 10. Encauzamiento del barranco de Chayofa en La Caleta de Güimar (Internet y URBEING) 443
Figura 11. Muro protector en la margen izquierda del barranco de Chirche en Guía de Isora (CIATF) 443
Figura 12. Encauzamientos del bco. de El Cercado en Sta Cruz y de Guía en Guía de Isora) (CIATF) 444
Figura 13. Barranco de El Aceite canalizado a cielo abierto y desviado hasta el de Santos 445
Figura 14. Canalizaciones abiertas de distintas geometrías y materiales, con soleras naturales o tratadas 446
Figura 15. Canalizaciones cerradas con distintos tipos de estructura y secciones (CIATF) 447
Figura 16. Viaductos. Dos de ellos en fase de construcción (CIATF) 447
Figura 17. Diversos tipos de geometría y de dimensiones en las obras de drenaje transversal (CIATF) 448
Figura 18. Restos de una canalización enterrada y muro de encauzamiento «colgado» (CIATF) 449
Figura 19. La obstrucción de la ODT por los arratres ocasiónó la invasión de las escorrentías al vial 449
Figura 20. Aumento de la sección de una ODT en la autopista TF-1 451
Figura 20. Encauzamientos visitables con medios de acceso –rodado en dos de ellos– a su interior 451
Figura 21. Encauzamientos visitables con medios de acceso –rodado en dos de ellos– a su interior 451
Figura 22. Medidas destinadas a la retención de acarreos y/o a la dismunución de la velocidad de paso de las escorrentías reduciendo la pendiente y/o aumentando la rugosidad del piso y cajeros (CIATF 452
Figura 23. Encauzamiento del barranco de Las Arenas bajo el P.I. de El Mayorazgo en La Orotava 453
Figura 24. Acceso a cauce para medios mecánicos y cuencos para retención de acarreos (CIATF) 453
Figura 25. Cauces en «zanjón» (CIATF) 453
Figura 26. La pista hace las veces de vial y de canalización del barranco de la Ladera en Güimar La pista hace las veces de vial y de canalización del barranco de la Ladera en Güimar 454
Figura 27. Badenes con elementos drenates inferiores. 454
Figura 28. Badenes sin elementos drenates inferiores. 454
Figura 29. Restos del barrancamino de la imagen 25. 454
Figura 30. Vehículos atrapados entre los arrastres sólidos de una riada. 455
Figura 31. Badenes dañados e interrupciones de tráfico. 455
Figura 32. Cruce de la carretera TF-47 con el barranco de El Agua (CIATF). 456
Figura 33. Tramo final de la canalización del barranco de El Cercado. 457
Figura 34. Barranco de Las Huertas (San Andrés) antes y después de su encauzamiento (ORTOFOTO). 457
Figura 35. Desvío del bco. Risco Tierra al bco. de Las Hornillas en Arafo 458

Figura 36. Tramo final del cauce del barranco de La Montañeta en Barranco Grande (CIATF). 459
Figura 37. Vía de desagüe en el Polígono Industrial de Güimar. 462
Figura 38. Cuenco para retención de escombros anterior a una ODT en el barranco de Troya (CIATF) 464
Figura 39. Muro de contención de acarreos en el barranco de Anchieta con orificios drenantes. 464
Figura 40. Dique de gaviones y dique de hormigón para contención de acarreos. 464
Figura 41. Dique mixto 464
Figura 42. Retenedor de detritus en el cauce del barranco de La Leña en Santa Cruz (CIATF). 465
Figura 43. Dique de contencion de acarreos anterior al tomadero de la balsa de Trevejos (Vilaflor). 465
Figura 44. Dique en el cauce del barranco de Santos (Sta. Cruz) y ratrillos en el de Guaza (Güima). 466
Figura 45. Homogeneización de la sección hidráulica del cauce del barranco de San Felipe (CIATF) 466
Figura 46. Canal interceptor de las escorrentías de ladera en María Jimenez (Santa Cruz) 467
Figura 47. Cunetas de guarda 468
Figura 48. Interceptor transversal de escorrentías (CIATF) 469
Figura 49. Rejillas interceptando escorrentías urbanas (CIATF) 469
Figura 50. Presas en los barrancos de Iboibo y de Las Moradas 470
Figura 51. Balsas en cauces de barranco 470
Figura 52. Tomaderos del barranco de La Vica y del barranco de Santos 470
Figura 53. Cauce de barranco antes y después de la retirada de los arrastres sólidos(CIATF) 471
Figura 54. Galerías de servicio anexas a canalizaciones artificiales (CIATF) 472
Figura 55. Flejes de tuberías metálicas sustituidos por conductos de polietileno (CIATF) 472
Figura 56. Pasatubos de distinto tipo, material y localización respecto de la canalización (CIATF) 472
Figura 57. Canal de desagüe a continuaciñón del barranco de El Bufadero (CIATF) 473
Figura 58. Canal apoyado en pilastras sobre el mismo cauce (CIATF) 476
Figura 59. Tuberías en plataforma adosadaa viaducto, canales en cauce a nivel y sifón. 476
Figura 60. Encauzamiento, cauce natural y ODT usados para el tendido de tuberías. 476
Figura 61. Tuberías colgadas en el bco. de Martianez (Pto de la Cruz) y en el de El Hierro (Santa Cruz). 477
Figura 62. Sección de la obra de encauzamiento del barranco de Guía bajo la vía del anillo insular. 478
Figura 63. Infraestructuras de servicios y edificación en zonas de cauce de barranco (CIATF). 478

Figura 64. Cuartos ocultos por los escombros de una riada (CIATF). 479
Figura 65. Grupo de edificaciones a pie de cauce y terraza y cuartos colgando sobre cauce (CIATF). 479
Figura 66. Cauces que fueron usados como vertedero. 480
Figura 67. Distintas formas de presencia de la vegetación en los cauces artificiales. 481
Figura 68. El barranco de El Hierro en Santa Cruz (CIATF). 482
Figura 69. Tramo final del bco. de Guama canalizado con bloques de tosca extraídos del entorno 483
Figura 70. Canal que circunvala la zona de la Vega Lagunera colindante con el casco histórico (CIATF). 483
Figura 71. Pasarela en la desembocadura del bco. del Cercado en San Andrés - Santa Cruz (CIATF) 484
Figura 72. Tramo final del barranco de Santos en Santa Cruz (CIATF) 484
Figura 73. El barranco de Guía discurriendo por el casco histórico de Guía (CIATF) 485
Figura 74. Puente apoyado en los basaltos que encauzan de forma natural un barranco (CIATF) 486
Figura 75. Cuña artificial en la confluencia de los bcos. De Valle Grande y Valle Brosaque - Santa Cruz (CIATF) 486
Figura 76. Antigua presa reconvertida en dique de contención de acarreos en el bco. de Valle Grande (CIATF) 486
Figura 77. Encauzamiento del barranco de Chayofa en La Caleta (Güimar) (URBEING) 487
Figura 78. Barranco de La Vica discurriendo al pie de la balsa de Trevejos en Vilaflor (CIATF) 487
Figura 79. ODT en la autopista TF-1 con acceso a cauce y pasarela peatonal (CIATF) 487
Figura 80. Encauzamiento del barranco de San Andrés bajo una vía (CIATF) 488
Figura 81. Encauzamiento del barranco de Las Huertas discurriendo campo a través (CIATF) 488
Figura 82. Encauzamiento del barranco de Guía discurriendo entre fincas de cultivo (CIATF) 488
Figura 83. Invasión de vial; aterramiento de canalización y obra de drenaje tupida 489
Figura 84. Plano del Puerto de la Cruz suscrito por el Alcalde Real en 1828 (José Agustín Alvarez Rixo) 492
Figura 85. La ríada (12/1992) rebasó el puente del Cabo, dañando la margen derecha del barranco de Santos 494
Figura 86. La calle de la carrera inundada en La Laguna 495
Figura 87. Huellas de la avenida de noviembre de 1950 (CIATF) 497
Figura 88. Obras de paso y/o drenaje transversal en la autopista TF-1 (Google y CIATF) 497
Figura 89. Encauzamiento del barranco de San Felipe a su paso por el CC Las Pirámides (CIATF) 498
Figura 90. La Vega Lagunera inundada y calle en Bajamar invadiada

por los escombros de la riada (Tagoror Meterológico de Canarias-Internet) 499
Figura 91. Canalizaciones que discurren por el interior y por los contornos de la Vega Lagunera 499
Figura 92. Hietograma de la lluvia registrada en el pluviografo de Santa Cruz (CIATF) 501
Figura 93. Mapa de isolíneas de precipitación del temporal del 31 de marzo de 2002 (CIATF) 501
Figura 94. Arrastres sólidos acumulados en la subcuenca inferior del barranco de La Leña - Santa Cruz (CIATF) 502
Figura 95. Pasarela peatonal sobre el barranco de El Bufadero desbordada por las escorrentías (CIATF) 502
Figura 96. Encauzamiento del barranco de Casalón en Santa Cruz (CIATF) 503
Figura 97. Disipador de enrgía para salvar un desnivel de 15 metros en el barranco de El Hierro - Santa Cruz (CIATF) 504
Figura 98. Canalizaciones de barrancos complementadas con elementos reguladores del cauce (CIATF). 504
Figura 99. Las escorrentías de diciembre de 2002 inundaron bancales de cultivo en el sur (CIATF). 505
Figura 100. El barranco de Guía aguas abajo del teatro-cine-auditorio (CIATF). 506
Figura 101. Cauce del bco. de Badajoz y pared de la cantera El Badén abatidos por la riada (CIATF). 507
Figura 102. Recuperación del tramo de cauce del bco. de Badajoz abatido por la riada (CIATF). 507
Figura 103. Mapa de isolíneas de precipitación del día 16 de noviembre de 2009 (CIATF). 508
Figura 104. Hietograma en la estación meteorológica PALOB (AGROCABILDO). 508
Figura 105. Las escorrentías de la riada de noviembre de 2009 socavaron lechos y hastiales (CIATF). 509
Figura 106. Los arrastres obtruyeron obras de drenaje transversal en más de un vial (CIATF). 509
Figura 107. Balsa de Benijos invadida y deteriorada por las escorrentías (CIATF). 510
Figura 108. Viviendas inundadas y tludes desplomados con la riada de noviembre de 2009 (CIATF). 510
Figura 109. Viales destrozados tras la riada de noviembre de 2009 (CIATF). 511
Figura 110. Vehículos atrapados en los cauces entre arrastres de barranco (CIATF). 511
Figura 111. Imágenes del 1 de febrero de 2010 en Santa Cruz, Tabaiba y la autopista TF-1 (Internet) 512
Figura 112. Mapa de isolíneas de precipitación del día 1 de febrero de 2010 (CIATF) 513
Figura 113. Iglesia de La Concepación inundada y barranco de El Bufadero desbordado (Internet) 513
Figura 114. Escorrentías circulando por la calle principal del P.I.

La Campana y escorrentías de ladera vertiendo sobre la plataforma de la autpista TF-1 (Internet) 514
Figura 115. Escorrentías descendiendo por las calles de Tabaiba Baja (Internet) 514
Figura 116. Puente del Cabo en el bco. de Santos y pasarela peatonal en el del Bufadero (CIATF) 515
Figura 117. Cuenco de recogida de las escorrentías urbanas del Polígono de La Campana (CIATF) 515
Figura 118. Mapa de isolíneas de precipitación del día 3 de marzo de 2013 (CIATF). 516
Figura 119. Escorrentías generadas por las lluvias del 3 de marzo de 2013 (CIATF). 517
Figura 120. Huellas de la riada de marzo de 2013 en la canalización del barranco de Guía (CIATF). 517
Figura 121. Daños en viales, fincas, cauces y viviendas con la riada de marzo de 2013 (CIATF). 518
Figura 122. Mapas de isoyetas de los temporales de los días 2/12/2013 y 11/12/2013 (CIATF). 519
Figura 123. Desbordamiento de cauces en la costa sureste (Internet-Meteo La Matanza). 520
Figura 124. Canalización entrrada del tramo final del barranco de Las Lisas en El Rosario (CIATF). 521
Figura 125. Obras de canalización del bco. de Chayofa en La Caleta de Güimar (URBEING). 521
Figura 126. Inundación de la carrtera TF-5 con las lluvias del día 5 de noviembre de 2016. 522
Figura 127. Información aportada por la G. M. para el control de Caudales Máximos de Avenida (CIATF). 525
Figura 128. Simulación de la evolución de la tormenta del 1/02/2010 en intervalos de 10 minutos (CIATF). 527

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de estaciones con más de 10 años de registros utilizables 31
Tabla 2. Precipitación media anual en cada una de las últimas doce décadas 43
Tabla 3. Precipitación media anual intraperíodos de 30 años 44
Tabla 4. Precipitación media anual intraperíodos de 57 años 44
Tabla 5. Distribución mensual de la pluviometría media insular 52
Tabla 6. Distribución mensual de la Precipitción de Agua de Niebla 68
Tabla 7. Distribución mensual de la Precipitción Total (PT = PC + PAN) 69
Tabla 8. Temperatura media insular en cada una de las últimas 10 décadas. 73
Tabla 9. Temperatura media insular intraperíodos de 30 años 73
Tabla 10. Distribución en el tiempo de la Temperatura media insular 74
Tabla 11. Contraste entre el BHI «inicial» del MHSup y el último «actual» 86
Tabla 12. Balance Hídrico Insular Medio «Histórico» 87
Tabla 13. Balance Hídrico Insulra Medio «Actual» 88
Tabla 14 Relación cronológica de los BHI históricos y actuales (**L/m²/año**) 91
Tabla 15. Relación cronológica de los BHI históricos y actuales (**Hm³/año**) 92
Tabla 16. Distribución en el tiempo de las aguas de escorrentía derivadas y almacenadas 126
Tabla 17. Distribución en el tiempo de las aguas de escorrenía que vierten al mar 127
Tabla 18. Distribución en el tiempo de las aguas de escorrenía 127
Tabla 19. Distribución en el tiempo de la Evapotranspiración de Referencia media en la isla de Tenerife 141
Tabla 20. Distribución en el tiempo de la Evapotranspiración Potencial media en la isla de Tenerfe 141
Tabla 21. Capacidad de Retención de agua por el suelo contiguo a las estaciones bioclimáticas que, relativas al Archipiélago Canario, se contemplan en el MAPA DE VEGETACIÓN DE ESPAÑA 146
Tabla 22. Distribución en el tiempo de la Evapotranspiración Real media 149
Tabla 23. Distribución en el tiempo del agua de Reserva en el suelo 150
Tabla 24. Distribución en el tiempo de la Recarga. 160
Tabla 25. Ciclo hidrológico del año medio del período 1944/45-2014/15 en la isla. 161
Tabla 26. Balances hídricos: Proyecto SPA-15 e Histórico 181
Tabla 27. Relación de embalses seleccionados en el Plan de Balsas del Norte de Tenerife. 184
Tabla 28. Balances hídricos: PHI e Histórico del MHSup 188
Tabla 29. Balances hídricos: SPA-15, PHT e Histórico. 189
Tabla 30. Tomaderos activos y capacidad del conducto de derivación (Q) en m³/s 205
Tabla 31. Situación actual de los Recursos Atmosféricos y Superficiales (1985/86-2014/15) 208

Tabla 32. Datos Generales de las Grandes Presas de la isla de Tenerife 210
Tabla 33. Datos de Explotación de las Grandes Presas en la isla de Tenerife 211

Tabla 34. Características de la cuenca vertiente del barranco de Las Madres 219
Tabla 35. Características de la cuenca vertiente del barranco de Pta. la Baranda219
Tabla 36 Datos Generales de las Balsas de Tenerife. 222
Tabla 37. Datos de Explotación de las Balsas de Tenerife. 223
Tabla 38. Características físicas e hidrológicas de la cuenca del bco. Los Camellos 231
Tabla 39. Aportaciones de agua de escorrentía a la balsa de Montaña de Taco. 235
Tabla 40. Características de la cuenca vertiente al tomadero de Valle Molina 238
Tabla 41. Aportaciones de agua de escorrentía superficial a la balsa de Valle Molina 239
Tabla 42. Características de la cuenca vertiente al tomadero de San Antonio 244
Tabla 43. Aportaciones de agua de escorrentía del bco. de Santos a la balsa de Valle de San Lorenzo 249
Tabla 44. Valores medios del coeficiente de escorrentía en los estudios hidrológicos del PBT 250
Tabla 45. Características de las cuencas hidrográficas del Aprovechamiento Sur267
Tabla 46. Características de las cuencas hidrográficas del Aprovechamiento Norte 271
Tabla 47. Características de las cuencas Tabares 1, Tabares 2 y Valle Jimenez 1 y 2 275
Tabla 48. Capacidades del conducto de derivación de las escorrentías de las cuencas de Los Valles y volúmenes medios anuales que se habrían derivado durante el período 1950/51-1991/92 277
Tabla 49. Características de las cuencas hidrográficas seleccionadas para el Proyecto Trevejos 282
Tabla 50. Aprovechamiento Trevejos: aportaciones medias en los tomaderos. 284
Tabla 51. Capacidades óptimas de derivación (m^3/s) y volúmenes medios trasvasados (m^3/año) 284
Tabla 52. Aprovechamiento Trevejos: esquema óptimo de explotación de las escorrentías. 286
Tabla 53. Aportaciones de agua de escorrentía derivadas a la balsa de Trevejos entre 2009 y 2018 286
Tabla 54. Contraste entre aportaciones y las deducidas en el MHSup en la balsa de Trevejos. 295
Tabla 55. Formaciones litológicas agrupadas según afinidad hidrogeológica 330
Tabla 56. Permeabilidad primaria de la Agrupación Basaltos (b) y Traquibasaltos (tb) según su nivel de estratificación geológica y la tasa de Infiltración Básica (TIB) de su suelo de cobertura. 330
Tabla 57. Dos de las ocho categorías de la Tabla de valores del Umbral de Escorrentía (PÆ). 332
Tabla 58. Coeficiente reductor de la ETP. Aplicado en el modelo hidrológico distribuido SIMPA 341
Tabla 59. Muestra de valores de coeficientes de cultivo (Kc) aplicados en el MHSup 342
Tabla 60. Temporal de lluvia desagregado en aguaceros diarios con varias opciones de duración 345

Tabla 61. Controles del nivel en la Presa de Tabares entre 10/1992 y 02/1993. 349
Tabla 62. Contraste de valores del umbral de escorrentía (Po) según el MHSup y según el S.C.S. 356
Tabla 63. Valores del factor corrector de LÆ con los aguaceros 359
Tabla 64. Balance Hídrico Subteráneos (BHSub) deducido a partir del MFSub 524