

## ANEJO 9. *GUÍA METODOLÓGICA*



<b>I.</b>	<b>METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE AVENIDA</b>	<b>2</b>
I.1.	Generalidades	2
I.2.	Metodología utilizada en la elaboración de la Guía	4
<b>II.</b>	<b>DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CÁLCULO</b>	<b>7</b>
II.1.	Caracterización del régimen extremo de precipitación	7
II.1.1.	Datos disponibles	7
II.1.2.	Caracterización de la precipitación máxima diaria	9
II.1.3.	Caracterización de la intensidad de precipitación	11
II.2.	Caracterización del medio físico	20
II.2.1.	Geometría y parámetros físicos de las cuencas	22
II.2.2.	Parámetros de infiltración	26
<b>III.</b>	<b>OBTENCIÓN DE LOS CAUDALES DE REFERENCIA</b>	<b>34</b>

## I. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE AVENIDA

### I.1. Generalidades

El conocimiento del régimen de las avenidas que se presentan en los cauces es básico para diseñar obras y realizar actuaciones sobre el territorio. La cuestión que se plantea es cómo y en qué grado alcanzar dicho conocimiento.

Por lo general, los proyectistas utiliza únicamente el caudal punta para diseñar y dimensionar las obras de canalización, paso o defensa. En muchos casos, también se necesita conocer la distribución temporal de los caudales de avenida (hidrograma de avenida) en puntos concretos del cauce e incluso qué fracción de la misma son “aportaciones sólidas”.

Debido a la ausencia de estaciones de aforo y por lo tanto de registros sistemáticos de caudal en la isla, no se pueden aplicar metodologías basadas en la estadística de caudales, de modo que los cálculos de caudal únicamente se pueden determinar por procedimientos (1) empíricos o (2) hidrometeorológicos.

La historia de los procedimientos de cálculo de caudales de avenida está ligada a la propia disponibilidad de datos.

Los métodos empíricos se desarrollaron en paralelo a la aparición de las primeras observaciones hidrológicas. Su desarrollo comienza a finales del siglo XIX y concluye en el primer tercio del siglo XX. Metodológicamente suponen la primera posibilidad de cálculo de caudales de avenida.

Los métodos son muy sencillos y únicamente permiten estimar el caudal punta. Se desarrollaron correlacionando los caudales punta de referencia con parámetros físicos de las cuencas, por lo general en el dominio de una región geográfica. Los métodos quedaron en desuso en cuanto se contó con metodologías de base conceptual por las siguientes razones:

- La precipitación no es en ningún caso el parámetro de entrada, y por lo tanto los métodos no son capaces de dar diferentes resultados para regiones geográficas o elevaciones distintas.
- El parámetro físico que utilizan es invariablemente el área de cuenca, y no se tienen en cuenta las características del terreno, la pendiente, la forma de la cuenca, etc...
- El período de retorno del caudal se desconoce, únicamente se sabe que es el caudal de referencia.

Nunca se desarrolló una fórmula empírica específica para la isla de Tenerife, lo que deja ésta metodología fuera del alcance de esta Guía, y relegada a la historia de la hidrología.

Los métodos hidrometeorológicos, que permiten calcular el caudal utilizando la precipitación, se desarrollaron a partir de la década de los 60, coincidiendo con el gran avance que supuso el establecimiento de numerosas cuencas experimentales y la recopilación sistemática de datos.

Se encuadran en esta categoría los procedimientos de cálculo actuales, aunque se prevé que los algoritmos de cálculo quedarán obsoletos cuando la abundantísima información que los sistemas de información en tiempo real están recogiendo desde hace dos décadas permita desarrollar nuevas teorías conceptuales más complejas y precisas.

A continuación se describen brevemente los métodos que se utilizan en la práctica hidrológica habitual para calcular caudales de avenida, que han servido como base para el desarrollo de la Guía.

En los métodos hidrometeorológicos, el caudal se calcula partiendo de la precipitación y aplicando diferentes algoritmos, que pueden tener base conceptual o no, y que normalmente están desarrollados para su tratamiento en forma de modelos matemáticos. Todos los métodos de cálculo hidrometeorológico responden a un esquema similar al siguiente:

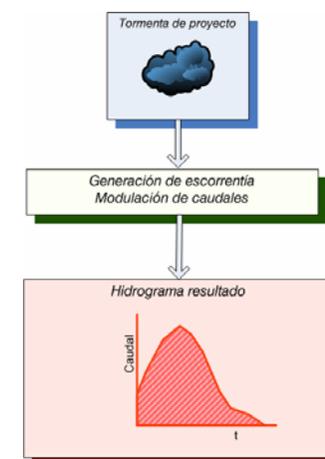


Figura 1 Esquema general de los métodos hidrometeorológicos de cálculo de avenidas

Los métodos de cálculo se pueden clasificar en atendiendo a la metodología:

- *Empíricos, o de caja negra*, donde se conoce una función impulso-respuesta pero no el detalle de los mecanismos que llevan a la dependencia entre los parámetros de la pluviometría y del caudal
- *Conceptuales o algorítmicos*, que se basan en teorías que describen matemáticamente de forma simplificada los procesos del ciclo hidrológico y que se pueden adaptar a las condiciones de cada emplazamiento mediante parámetros.

Atendiendo a la forma en que se considera el dominio del flujo, los métodos se pueden clasificar en

- *Globales o Agregados*, donde cada cuenca se considera una unidad de cálculo que funciona con los parámetros promedio.
- *Distribuidos*, cuando el dominio de flujo se considera fragmentado en celdas cuadradas, con características independientes

Por otra parte, el tratamiento del horizonte temporal de la lluvia que desencadena la escorrentía puede realizarse a través de modelos del tipo

- *Tormenta, o Suceso*, que se alimentan de una lluvia de proyecto, con características controladas y definidas a priori
- *Continuos*, que se alimentan de series pluviométricas largas y completas y producen largas series de caudales que permiten abordar análisis estadísticos

Las categorías definidas quedan resumidas en la tabla siguiente:

**Tabla 1. Clasificación de los métodos de cálculo de caudales de avenida**

Clasificación atendiendo a	Modelo	Metodología	
Metodología	Empírico		
	Conceptual		
Discretización espacial	Global (agregado)		
	Distribuido		
Horizonte temporal	Tormenta		
	Continuo		
Discretización temporal	Caudal punta		Métodos empíricos
			Método racional
	Hidrograma	Hidrograma unitario	
		Onda cinemática	

Para seleccionar entre todas estas posibilidades el método que servirá de base al desarrollo de la Guía Metodológica, hay que contar con el objetivo que se persigue, la información disponible en la isla y la flexibilidad que se pretende conseguir.

En este sentido, teniendo en cuenta que el CIATF utiliza extensivamente los Sistemas de Información Geográfica<sup>1</sup>, que ha preparado toda la información necesaria en este formato y que la tendencia de los métodos modernos de cálculo es orientarse hacia ellos, parece razonable utilizarlos como base de trabajo.

Los sistemas GIS facilitan enormemente las labores de obtención de datos y parámetros de modelación, y son las herramientas más adecuadas hoy día para acometer trabajos de gran amplitud geográfica como el de la Guía.

Conceptualmente, los Sistemas de Información Geográfica pueden ser de dos tipos:

- *vectorial*, que almacenan cuanto información se necesita asociándola a objetos gráficos - descritos por un punto, una línea o una superficie-, que es preciso cortar cuando se necesita hacer una operación, por ejemplo, evaluar los suelos que pertenecen a una determinada cuenca hidrográfica
- *raster*, que fragmentan la información en celdas de idéntico tamaño, cada una de las cuales contiene un único valor numérico o alfanumérico. En éste tipo de sistemas "matriciales" resulta muy sencillo localizar el valor de un parámetro a partir de sus coordenadas.

A priori, ninguno de los dos sistemas es superior, ya que cada cual tiene sus ventajas e inconvenientes. Sin embargo, los modelos matemáticos hidrometeorológicos encuentran mayores ventajas cuando utilizan sistemas del tipo raster, sobre todo cuando se dispone de una capa básica que representa la topografía de la isla y que se denomina Modelo Digital del Terreno<sup>2</sup>.

Partiendo del MDT y de coberturas con información hidrológica superponibles (idéntico paso de malla y coordenadas), resulta posible determinar los parámetros físicos de las cuencas y cuantos parámetros se necesitan para acometer la simulación hidrológica con un modelo matemático a partir de la lluvia. Se muestra a continuación una imagen del MDT de 5m que sirve de soporte a la Guía.

<sup>1</sup> que en adelante se denominarán GIS –siguiendo la abreviatura internacionalmente empleada-

<sup>2</sup> En adelante se abreviará en MDT

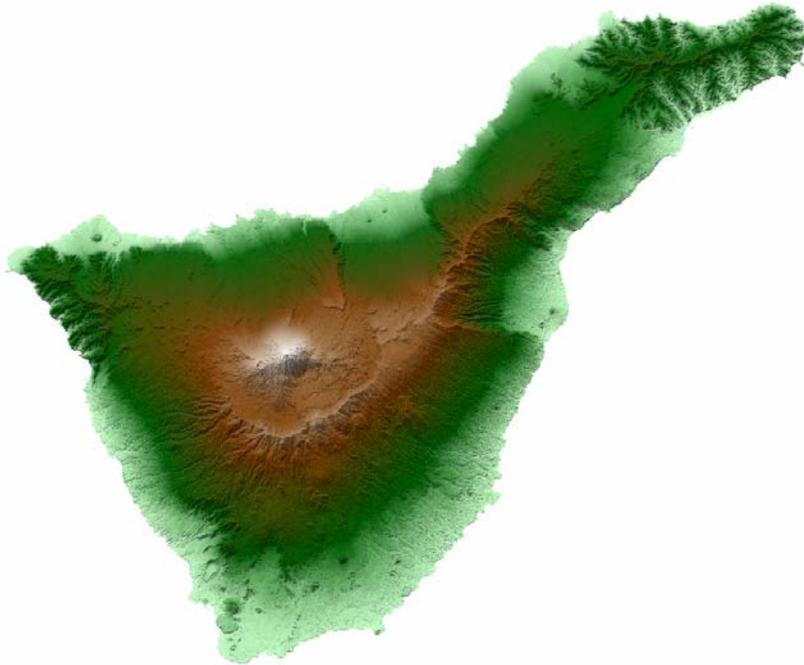


Figura 2 Modelo Digital del Terreno de la isla de Tenerife

## I.2. Metodología utilizada en la elaboración de la Guía

Debido a las facilidades que ofrece, se ha adoptado como base metodológica de trabajo para la Guía un GIS del tipo *raster* que se apoya en coberturas vectoriales cuando éstos resultan más ventajosos.

En relación con el modelo matemático hidrometeorológico a emplear, se ha preferido utilizar el modelo conceptual agregado de tormenta.

El modelo de tormenta se justifica por exclusión, ya que los modelos del tipo continuo son más apropiados para el estudio de recursos, y necesitaría disponer de series pluviométricas muy largas (por ejemplo 50 años) a intervalos pequeños (por ejemplo cinco o diez minutos) en numerosas estaciones pluviométricas. No se dispone de ésta información en Tenerife.

A cambio, la experiencia acumulada con los modelos de tormenta es muy amplia y, aunque en un futuro lejano con datos abundantes los modelos continuos del ciclo hidrológico aumentarán su popularidad, en el momento presente no representan una buena alternativa.

Por otra parte, se ha preferido el modelo del tipo agregado frente al distribuido por su sencillez de tratamiento, ya que el problema a resolver es demasiado complejo para trabajar al nivel de detalle que requieren dichos modelos, capaces de realizar balances de agua celda a celda para determinar el exceso de lluvia intervalo a intervalo y trasladarlo a las celdas inferiores.

Por otra parte, tampoco hay garantía de que al utilizar modelos tan detallados se obtengan mejores resultados. La traslación de agua de unas celdas a otras en un territorio tan abrupto como Tenerife, que en muchos casos produce flujos del tipo rápido, no podrían ser simulados adecuadamente ni calibrados sin la ayuda de los inexistentes registros en las estaciones de aforo, lo que dejaría una gran incógnita en los resultados.

A cambio, un modelo agregado basa sus características de traslado en algoritmos sencillos de balance hidrológico tan comprobados a lo largo del tiempo como el hidrograma unitario, que, partiendo únicamente de la geometría, permite modular y trasladar los caudales producidos hasta el punto final de la cuenca.

La precipitación en un modelo distribuido se aplicaría en cada celda leyendo los mapas de isohietas y componiendo hietogramas individuales. Sin embargo ésta rigurosa forma de actuar no mejora las predicciones que en el modelo agregado se realizan con el mismo procedimiento a partir de precipitaciones promediadas en las celdas que componen la cuenca.

Hay que destacar que al utilizar un modelo agregado que se alimenta de parámetros extraídos de GIS, se resume la información del sistema distribuido que representan las coberturas *raster* de los parámetros en cada subcuenca, lo que supone un método intermedio entre el agregado y el distribuido.

El método más extendido para simular caudales en modelos agregados, y que se emplea por defecto en la elaboración de la Guía, es el del hidrograma unitario, que representa el caudal que produce la cuenca como respuesta a un exceso de lluvia de valor unidad y duración determinada.

Con éste método, desarrollado por Sherman en 1932, el proceso de transformación de los hietogramas de tormenta en hidrogramas se divide conceptualmente en dos fases:

- producción de escorrentía -cálculo del exceso de lluvia-
- formación del hidrograma de avenida –distribución del exceso en el tiempo-

Las fases se muestran esquemáticamente en la figura siguiente

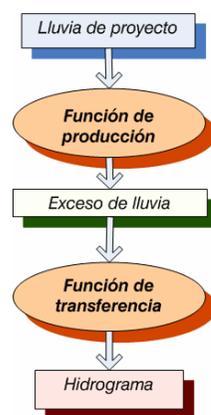


Figura 3 Generación de hidrogramas de avenida por el método del hidrograma unitario

La producción de escorrentía se realiza aplicando un modelo de pérdidas cuyo resultado consiste en el volumen total y la distribución temporal del exceso de lluvia<sup>3</sup> que produce la tormenta de proyecto.

Partiendo de éste resultado, la modulación y formación del hidrograma de avenida se realiza utilizando la función de transferencia que representa el hidrograma unitario, que se encarga de repartir en el tiempo la escorrentía producida por cada unidad de exceso de lluvia y dar forma al hidrograma de exceso de lluvia a través del proceso lineal denominado *convolución*, que consiste en integrar las respuestas de la cuenca en cada intervalo del hidrograma de exceso de lluvia.

Aunque conceptualmente ambos procesos están íntimamente relacionados, a efectos de cálculo en aplicaciones hidrológicas se tratan como fenómenos independientes ya que se parte de variables diferentes:

- El exceso de lluvia depende tanto de la tormenta de proyecto como de la capacidad del suelo para producir pérdidas y no está relacionado directamente con los parámetros geométricos de la cuenca.
- El hidrograma unitario representa únicamente las características morfológicas de la cuenca (parámetros de forma, densidad de la red de drenaje, etc.) y no tiene relación alguna con la pluviometría.

### Modelo de pérdidas (función de producción)

Se agrupa en el término pérdidas la fracción de la precipitación que no contribuye directamente a la escorrentía, pudiendo quedar almacenada temporalmente en la superficie, perderse completamente de la cuenca por evaporación o infiltrar en el terreno y aparecer más adelante en los cauces como flujo base.

Se han desarrollado numerosos modelos para determinar el exceso de lluvia. Algunos de ellos son muy sencillos como el índice  $\Phi$ , que considera infiltración constante durante una tormenta mientras que otros como el desarrollado por Green-Ampt son más complejos y requieren numerosos parámetros difíciles de evaluar en la práctica.

Con la excepción del método de éste último, todos los procedimientos de cálculo de pérdidas podrían fracasar al considerar que la infiltración en el suelo es progresiva y que por tanto la capacidad de infiltración del suelo no se recupera. Sin embargo, trabajando en modelos de tormenta, donde se analiza la escorrentía de una tormenta independiente de corta duración, ésta particularidad no representa ningún problema práctico.

Buscando un compromiso operativo entre los diferentes procedimientos de cálculo, el *Soil Conservation Service* del *U.S. Department of Agriculture* desarrolló en 1960 un método experimental basado en un único parámetro cuyos excelentes resultados lo han convertido en el método universalmente utilizado.

El método, denominado abreviadamente *número de curva*, clasifica el potencial de escorrentía de los terrenos por un parámetro único que varía entre 0 y 100 (0 = suelo totalmente permeable, 100 =suelo totalmente impermeable). El valor del parámetro está ligado a las características de la vegetación, tipo de suelo, uso del suelo y pendiente y se puede estimar mediante tablas experimentales. Este método es el que emplea la Guía.

### Modelo de formación del hidrograma (función de transferencia)

El hidrograma unitario representa la contribución de las características morfológicas de la cuenca a la escorrentía. Se puede obtener por diversos métodos:

- partiendo de registros históricos (hietogramas de hidrogramas).
- aplicando métodos empíricos o con base física desarrollados por diversos investigadores, que obtienen la respuesta de cualquier cuenca a través de un conjunto de parámetros físicos.

En principio, cualquier procedimiento de obtención del hidrograma unitario es adecuado. En el caso de Tenerife, la ausencia de registros históricos hace imposible utilizar esta opción y hace necesario recurrir a métodos sintéticos. Entre los más utilizados cabe destacar los del SCS y Clark.

<sup>3</sup> También denominado lluvia eficaz o escorrentía directa

El hidrograma unitario del SCS se desarrolló de forma simultánea a la función de pérdidas. Es el más sencillo porque se trata de un hidrograma adimensional preconstruido que se dimensionaliza utilizando únicamente un parámetro (tiempo de retardo) a partir del cual se calculan el caudal punta y el tiempo al pico, parámetros que permiten dar dimensiones al hidrograma.

El hidrograma unitario de Clark tiene base física, ya que se construye sobre el concepto del hidrograma unitario instantáneo, que es el régimen de caudales que produce una lluvia de volumen unidad y duración infinitesimal que a continuación se traslada por la red de drenaje de la cuenca. Se ha adoptado éste método para los cálculos de la Guía.

En éste método, el hidrograma unitario se calcula trasladando un hidrograma de partida que se obtiene aplicando una lluvia unidad de duración infinitesimal a la curva tiempos áreas de la cuenca (curva obtenida de la representación gráfica de líneas isocronas, y que representa la velocidad de incorporación de la contribución de las diferentes áreas de la cuenca) y que posteriormente se lamina por el método del embalse lineal con un embalse ficticio que se sitúa en el punto más bajo de la cuenca y que representa el retardo que la forma y rugosidad de la cuenca provoca en el hidrograma.

Para el cálculo, únicamente se necesitan tres parámetros: el tiempo de concentración de la cuenca, el diagrama tiempos áreas antes aludido (en la Guía se utiliza el diagrama tiempos-áreas interno que por defecto utiliza HEC-1 ya que este parámetro es poco sensible a los cálculos) y el parámetro R de retención de la cuenca, que se obtiene por métodos experimentales y que en todo caso se puede estimar a partir del tiempo de concentración.

De todos modos, el hidrograma unitario supone en la mayoría de los casos un parámetro de carácter secundario en el cálculo de caudales de avenida, porque el caudal punta depende en mayor medida de las características de la tormenta de proyecto y de la función de pérdidas del suelo que de la distribución temporal de caudales que la cuenca puede -por su morfología y rugosidad- generar de los excesos de lluvia producidos.

En cuencas grandes, de tamaño superior a 100 km<sup>2</sup>, el procedimiento no es suficiente porque se deja de cumplir la hipótesis de uniformidad espacial de la precipitación.

Finalmente, es necesario dejar constancia de que la hipótesis fundamental del método del hidrograma unitario es la linealidad del sistema, es decir, una precipitación neta doble produciría el doble de caudal.

Para realizar los cálculos con el método del hidrograma unitario se emplea en la Guía el modelo matemático HEC-1 *Flood Hydrograph Package*, desarrollado hace más de 30 años por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. y estándar *de facto* en la práctica hidrológica extrema hasta que se desarrolló su sucesor, HEC-HMS *Hydrological Modeling System*, mucho más rico en opciones del tipo interactivo pero con los mismos procedimientos de cálculos para modelos agregados de tormenta y menos apropiado para la automatización del cálculo. Tanto HEC-1 como HMS permiten elegir entre varios algoritmos de cálculo, -entre otros los mencionados en párrafos anteriores-, facilitando los cálculos y el análisis de los resultados.

Sin embargo, el método no resulta apropiado en las cuencas pequeñas (de superficie inferior a 3 km<sup>2</sup>) como la mayoría de las pequeñas subcuencas de la isla de Tenerife, ya que la cantidad de agua que el suelo necesita absorber antes de producir escorrentía -abstracción inicial o umbral de escorrentía, que es función de las características de infiltración- no se puede satisfacer en las tormentas cortas que es necesario utilizar en tales cuencas.

Por este motivo, en la Guía se utiliza el conocido método racional en las cuencas más pequeñas (superficie inferior a 1 km<sup>2</sup>) y se utiliza un promedio del caudal obtenido en ambos métodos para las cuencas cuya superficie está entre los límites de aplicación de los citados procedimientos (1-3 km<sup>2</sup>).

El método racional hace la hipótesis de que la tormenta -de intensidad uniforme- tiene una duración tal que se llega a establecer un régimen de equilibrio en los caudales producidos por la cuenca (el caudal punta permanece constante a partir de este momento).

En ésta hipótesis garantiza que la abstracción inicial siempre va a quedar satisfecha, y que la infiltración constante que absorbe la cuenca corresponde a la infiltración en fase de producción hidrológica.

Para el cálculo, basta con determinar un coeficiente- denominado de escorrentía- que servirá de factor reductor de la precipitación transformada a caudal a través de un coeficiente de conversión, y mayorada por el área de la cuenca.

En la Guía, para aplicar el método racional se sigue el procedimiento descrito en la Instrucción de Carreteras del Ministerio de Fomento 5.2-IC que, para calcular las pérdidas, parte de la misma información que el método del hidrograma unitario, lo que facilita enormemente la utilización simultánea de ambos métodos.

## II. DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CÁLCULO

Antes de aplicar los métodos que se describieron brevemente en el apartado anterior, es necesario determinar los parámetros que diferencian a cada cuenca de las restantes.

Los parámetros pueden ser del tipo físico, que describen la geometría y las propiedades de infiltración del medio que necesitan los modelos matemáticos o pluviométricos, que proporcionan las precipitaciones de cálculo con las que se compone el hietograma de proyecto de la tormenta.

Se resumen a continuación los estudios realizados para caracterizar con detalle los parámetros de la isla de Tenerife, pensando en la aplicación masiva de modelos matemáticos, comenzando con las precipitaciones -que permitirán diseñar hidrogramas de proyecto según describe el apartado 4.1.3- y concluyendo con los parámetros físicos.

### II.1. Caracterización del régimen extremo de precipitación

El objetivo del estudio de caracterización del régimen pluviométrico extremo es determinar los valores más relevantes de éste importante parámetro partiendo de toda la información disponible hasta la fecha, para componer las tormentas que alimentarán los modelos hidrológicos y que permitirán calcular los caudales extremos en cualquier punto de la isla.

La caracterización busca extraer la mayor información posible de las lluvias registradas para obtener productos elaborados que se pueden aplicar directamente a los procesos de simulación hidrometeorológica. En concreto se necesitan:

- Isohietas máximas diarias para diferentes períodos de retorno en la isla
- Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia
- Patrones y frecuencias de la distribución temporal de las tormentas más intensas

#### II.1.1. Datos disponibles

Para llevar a cabo el estudio, se cuenta con los registros de precipitación diaria y pluviógrafos que mantienen la Agencia Estatal de Meteorología<sup>4</sup> y diversos organismos canarios (Instituto Canario de Investigaciones Agrarias y AgroCabilido).

En lo que a precipitación máxima totalizada a nivel diario se refiere, se dispone de datos en las 382 estaciones meteorológicas que operan en la isla (337 del AEMET, 7 del ICIA gestionados por AEMET y 38 del AgroCabilido).

Para caracterizar la pluviometría diaria en la isla se seleccionaron los 47 pluviómetros con series de longitud aproximadamente superior a 20 años completos que muestra la tabla adjunta (algunos con series más cortas en zonas donde la información es escasa y unos pocos con series más largas pero incompletas). A pesar de este criterio, la longitud de registro no permite extraer las conclusiones deseadas por las razones que más adelante se harán evidentes.

Tabla 2. Estaciones pluviométricas con series más largas en la isla de Tenerife

Codigo	Toponimia	Organismo	Cota	Periodo	Años		
					Totales	Compl.	Incompl.
416A	SANTIAGO DEL TEIDE	AEMET	920	1945-2007	38	26	12
417E	STGO.TEIDE-TAMAIMO	AEMET	580	1945-1980	34	24	10
418U	ADEJE	AEMET	266	1985-2007	23	15	8
424E	VILAFLOR	AEMET	1378	1945-2007	57	50	7
427A	ARONA	AEMET	683	1985-2007	20	16	4
427E	SAN MIGUEL ABONA	AEMET	590	1946-2007	55	35	20
427H	GRANADILLA	AEMET	690	1944-2004	37	20	17
428F	ARONA-CAM.MORR.NEGRO	AEMET	390	1988-2007	20	18	2
428S	ARICO EL NUEVO	AEMET	345	1944-2007	55	26	29
429A	ARONA-PTA.RASCA-FARO	AEMET	12	1945-1998	54	44	10
429D	ARONA-GUAZA	AEMET	76	1978-2006	28	18	10
429I	REINA SOFIA-AEROP.	AEMET	64	1984-2007	24	23	1
429U	ARICO-FARO ABONA	AEMET	19	1945-1969	24	16	8
430E	IZAÑA	AEMET	2364	1946-2007	61	58	3
437I	ARAFO-AÑAVINGO	AEMET	565	1975-1999	22	15	7
438E	GÜIMAR-ESCOBONAL	AEMET	440	1944-1998	49	37	12
438I	ARAFO	AEMET	485	1946-2007	40	31	9
447A	RODEOS-AEROP. NORTE	AEMET	617	1941-2007	67	67	0
447C	ANAGA-MERCEDES	AEMET	686	1945-1999	49	23	26
448D	ANAGA-VALLE JIMENEZ	AEMET	425	1984-2007	24	16	8
448O	ANAGA-TAGANANA FAJAN	AEMET	243	1946-2007	42	34	8
448S	TEGUESTE	AEMET	377	1945-2007	57	44	13
448U	VALLE GUERRA-ISAMAR	AEMET/ICIA	295	1973-2007	34	24	10
448V	VALLE GUERRA-GARIMBA	AEMET/ICIA	500	1974-2007	33	20	13
449C	SANTA CRUZ DE TENERIFE	AEMET	36	1931-2007	73	73	0
449G	ANAGA-SAN ANDRES	AEMET	20	1960-2003	40	26	14
449K	ANAGA-FARO	AEMET	245	1945-2002	48	32	16
449O	ANAGA-TAGANANA	AEMET	240	1972-2007	36	31	5
449S	ANAGA-PUNTA HIDALGO	AEMET	46	1945-2007	45	33	12
449T	ANAGA-BAJAMAR	AEMET	46	1945-1984	40	23	17
449U	VALLE GUERRA-PAJALIL	AEMET/ICIA	110	1974-2007	33	20	13
449V	LAGUNA-TEJINA PICO	AEMET/ICIA	232	1945-2007	42	16	26
451U	REALEJOS-PORTILLO		2127	1971-2007	37	27	10

<sup>4</sup> En adelante se abreviará en AEMET

Codigo	Toponimia	Organismo	Cota	Periodo	Años		
					Totales	Compl.	Incompl.
457A	TACORONTE-NARANJEROS	AEMET	580	1948-2007	34	17	17
457B	TACORONTE-CARIDAD	AEMET	597	1958-2007	46	37	9
457C	TACORONTE	AEMET	515	1956-2007	48	42	6
457R	REALEJOS-PALO BLANCO	AEMET	675	1984-2005	22	16	6
458A	TACORONTE-A. S.E.A.	AEMET	327	1962-2007	35	18	17
458G	MATANZA-ACENTEJO	AEMET	500	1945-2007	46	36	10
458L	SANTA URSULA	AEMET	300	1944-2007	27	18	9
458P	OROTAVA-RAMAL	AEMET	268	1956-1998	40	30	10
459O	PUERTO CRUZ-BOTANICA	AEMET/ICIA	120	1944-2007	41	24	17
459S	REALEJOS-SAN AGUSTIN	AEMET	250	1984-2007	24	17	7
468A	GUANCHA - ASOMADA	AEMET	500	1984-2007	24	20	4
469A	S/J.RAMBLA	AEMET	47	1947-2007	54	43	11
469I	ICOD-A	AEMET	230	1946-1971	24	20	4
469J	ICOD-B	AEMET	230	1931-1980	23	18	5

Por otra parte, se dispone de datos pluviográficos procedentes de 3 observatorios del AEMET, 163 del AgroCabilo y 6 del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA).

En forma resumida, la información pluviográfica de partida es la siguiente:

Tabla 3. Estaciones pluviográficas en la isla de Tenerife

Código	Nombre	UTM-X	UTM-Y	Cota	Gestión	Período
429I	Reina Sofía – Aeropuerto Tfe. Sur	345027	3103593	71.8	AEMET	1982-2007
447A	Rodeos – Aeropuerto Tfe. Norte	369597	3150822	633.9		1947-2007
449C	Santa Cruz – Obs. Oficial	377079	3149153	47.7		1945-2007
ABONA	Arico. Coop. Cumbres de Abona	353849	3117213	410		1999-2007
ANA VI	Güímar. Morra del Tanque	359693	3134065	700	1999-2007	
ARICO	Arico Llanos de S. Juan	355400	3112604	135	1996-2007	
BADAJ	Güímar. Barranco de Badajoz	360163	3131456	340	1999-2007	
BENIJ	Orotava. Benijos	348420	3138219	906	1999-2007	
BVIST	Buenavista	319130	3140834	66	1996-2007	
CHIO	Guía de Isora. Chío	324442	3124348	735	1999-2007	
CUBO	El Tanque. Galería del Cubo	324146	3137070	750	1998-2007	
GALLE	Arona Guargacho	337440	3102083	73	1996-2007	
GUA01	La Guancha. Cueva del viento	336580	3142405	60	1998-2007	
GUANC	Rambla. San José	340156	3140302	546	1998-2002	
GUIA	Guía de Isora. Bco. de Los Llanitos	328014	3123157	1032	1998-2007	
GUIAI	Guía de Isora	324373	3122251	476	1996-2007	
HELEC	Arico. El Bueno	353719	3122139	930	1997-2007	
HOYOS	Sant. del Teide. Marquesa del Hoyo	322961	3132354	990	1999-2007	
ICOR	Arico. Icor	357054	3121061	381	2007	
LLANI	Icod de los Vinos. Llanito Perera	334646	3138781	475	1998-2007	
MATAN	La Matanza. Cruz del Camino	359196	3147834	650	1999-2007	

Código	Nombre	UTM-X	UTM-Y	Cota	Gestión	Período
MENA	Fasnía. Lomo de Mena	360740	3127892	500	ICIA	1999-2007
OROTA	Orotava. El Rincón-El Pinito	352002	3143564	216		1996-2007
ORTIZ	Arico. Bco. de la Puente	350727	3118581	725		1999-2007
PALMA	Buenavista. El Palmar	318453	3135931	556		1998-2007
PALOB	Los Realejos. Palo Blanco	345375	3139052	595		1998-2007
PINAL	Granadilla. El Pinalete	342278	3112313	850		1998-2007
POZO	Guía de Isora. El Pozo	326949	3120648	700		1998-2007
PSJUA	Guía de Isora Playa de San Juan	322332	3118947	50		1996-2007
RATIL	Orotava. El Ratiño	348931	3140312	380		1998-2007
RAVEL	El Sauzal. Ravelo	362091	3148289	922		1998-2007
REALE	Los Realejos. Icod El Alto	341820	3139577	770		1998-2007
REDON	Icod de los Vinos. Redondo	332578	3137523	525		1998-2007
SMIG	Granadilla. Charco del Pino	344478	3109181	505		1999-2007
SUERT	Orotava. La Suerte	348914	3139475	551		1998-2007
TACOR	Tacoronte. Aguagarcía	362900	3150012	694		1999-2007
TEGUE	Tegueste. La Padilla	367096	3154122	400		1997-2007
TEJIN	La Laguna. Tejina. Cno. de la Costa	365010	3157445	90		1998-2007
TOPO	Güímar. Topo Negro	362100	3130911	280		2003-2007
TRIGO	Los Silos. Tierra del Trigo	323464	3138058	450		1998-2007
URSUB	Santa Ursula. La Quinta	354033	3146055	205		2007
URSUL	Santa Ursula. Los Castaños	353588	3143582	550		1997-2007
URSUM	Santa Ursula. Farrotillo	355274	3144349	530		2007
VICTO	Victoria. El Loro	357976	3144713	825		1998-2007
VILAFLO	Vilaflor. El frontón	340126	3114250	1258		1999-2007
TOMA					1999-2004	
TF-01	Galletas	336548	3100220	27	2000-2007	
TF-02	Guía de Isora	320201	3124092	48	2000-2007	
TF-03	Güímar	364401	3133448	156	2000-2007	
TF-04	La Fuente-Buenavista	318081	3139905	28	2000-2007	
TF-07	Puerto de la Cruz	349782	3143912	142	2001-2007	
TF-105	Valle de Guerra-Isamar	364198	3154790	293	2006-2007	

La información está disponible en formato digital a intervalos diezminutales. Como en la versión anterior de la Guía, las series son demasiado cortas para emplearlas en los ajustes estadísticos que exige la caracterización y por ello la información pluviográfica disponible para el estudio se reduce a la de los citados tres observatorios del AEMET.

Al realizar un primer análisis de la información, salta a la vista que las series más antiguas están relativamente incompletas, ya que incluyen un importante número de años sin datos de precipitación ó con un valor muy escaso en la precipitación anual de muchos años aparentemente con información (indicador de series muy incompletas).

El análisis evidencia que la aparente abundancia de datos –sobre todo en pluviómetros de lectura diaria- resulta insuficiente para obtener resultados definitivos y fiables en ciertos aspectos del análisis como los relacionados con las intensidades de lluvia.

Esto se debe a que, debido al carácter cíclico anual de los datos de precipitación, los análisis estadísticos se realizan con series temporales compuestas por el mismo número de datos que años de registro. Así, cuando las series son cortas –por ejemplo, menos de 25 o 30 años de registro- con tan escaso número de datos resulta imposible extrapolar los datos a las frecuencias bajas de presentación que se utilizan habitualmente en el proyecto de obras de ingeniería.

### II.1.2. Caracterización de la precipitación máxima diaria

Para caracterizar la precipitación máxima diaria en Tenerife se analizan las propiedades regionales de las series anuales históricas de precipitación máxima diaria mes a mes en las estaciones pluviométricas más completas. El resultado final de la caracterización es una colección de mapas de isolíneas que reflejan la precipitación máxima diaria para diferentes periodos de retorno, y que constituyen la base de partida para la obtención de la precipitación de cálculo en las subcuencas

Para obtener los mapas se abordaron las siguientes tareas:

1. Ajuste de las series anuales de precipitación a distribuciones extremas
  - Composición de las series anuales de precipitación máxima diaria
  - Ajuste de las series de precipitaciones máximas diarias a las distribuciones estadísticas de Gumbel, SQRT-ET max y log-Pearson tipo III, en primer lugar con las asimetrías propias de cada serie y a continuación con asimetrías regionalizadas.
  - Extrapolación de las precipitaciones del ajuste final a los periodos de retorno 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 y 5000 años.
2. Generación de mapas de isolíneas máximas diarias
  - Establecimiento y cálculo de pluviómetros virtuales
  - Cálculo de isolíneas para cada periodo de retorno
  - Representación de los mapas de isolíneas sobre un mapa de la isla.
3. Conversión de isohietas a coberturas *raster*

#### **Ajuste de las series pluviométricas seleccionadas a distribuciones estadísticas**

El proceso de caracterización de la pluviometría diaria comienza ajustando los valores máximos observados en cada una de las estaciones pluviométricas citadas en el apartado de datos disponibles a distribuciones estadísticas especializadas en valores extremos.

El objetivo del ajuste es extrapolar de forma científica los valores máximos a los periodos de retorno que utiliza la Guía.

Se ajustaron las series anuales de años completos –aunque en algunos casos se incluyeron también incompletos con datos suficientes en épocas de riesgo para aumentar la longitud de la serie- a las distribuciones extremas de Gumbel, SQRT-ET máx y log-Pearson tipo III

Esta última distribución ha sido consagrada universalmente por su realismo para el análisis de valores extremos y es la recomendada por los organismos públicos de EE.UU. debido a que, al contar con 3 parámetros, es mucho más flexible para adaptarse a las peculiaridades de los datos reales de precipitación.

Como contrapartida, cuando las series son cortas, como sucede en Tenerife, las asimetrías de las series resultan erráticas, y se hace necesario aplicar un procedimiento de regionalización con objeto de mejorar la coherencia regional de los resultados de los diferentes ajustes.

Al observar los resultados, se observa que la calidad de los ajustes es similar para las tres distribuciones ensayadas. Sin embargo, teniendo en cuenta las escasas posibilidades que otras distribuciones presentan para mejorar el grado de ajuste, se ha preferido realizar los ajustes finales que sirven de base a la elaboración de las isohietas de precipitación máxima de la Guía por el procedimiento de log-Pearson tipo III, previa regionalización del coeficiente de asimetría siguiendo las normas del *U.S. Water Resources Council*.

La asimetría regional y su varianza, que se necesitan para obtener las asimetrías regionalizadas de cada serie, se obtuvieron con los datos de las series más largas del entorno (con más de 40 años completos), y dieron como resultado una asimetría regional de 0.045 con varianza 0.479.

Partiendo de éstos valores, la asimetría regional en cada estación se obtiene a partir de la asimetría propia de cada serie, corrigiendo con éstos parámetros según indica el citado boletín del *U.S. Water Resources Council*.

#### **Elaboración de mapas de isolíneas**

Los mapas de isolíneas se obtienen representando en cada estación pluviométrica los resultados de los ajustes estadísticos finales, previa depuración de los datos para mejorar la representación regional. Debido al escaso número de puntos calculados, se hace necesario densificar la red inicial de puntos añadiendo datos virtuales que se obtienen extrapolar los valores ajustados, y que dan coherencia a la relación precipitación-cota.

### Pluviómetros virtuales

Como resultado de la dinámica atmosférica, los mapas de isolíneas máximas diarias deben reflejar las variaciones en la precipitación que se observan en la realidad como consecuencia de las diferencias altimétricas entre observatorios y las barreras pluviométricas (bandas montañosas, valles, etc..).

Sin embargo, debido a que la mayoría de las estaciones pluviométricas se sitúan por lo general en las cotas más bajas, siguiendo la distribución de las poblaciones, se carece de información para representar la precipitación en las cumbres y los gradientes pluviométricos naturales. Como consecuencia, los mapas obtenidos estrictamente con los datos observados adolecen de falta de realismo.

Para solventar ésta deficiencia se introducen al cálculo de isolíneas nuevos pluviómetros *virtuales*, cuya precipitación se calcula con una distribución log-Pearson tipo III que utiliza parámetros –media y desviación típica- deducidos de las relaciones entre la cota y los parámetros estadísticos de las series (precipitación media y desviación típica).

Los datos así elaborados se han reducido al mínimo posible, porque usados en exceso homogeneizarían los mapas en exceso. Sin embargo, la necesidad de cubrir zonas sin información – sobre todo en medianías y zonas altas- y de representar el relieve (valles, dorsales), obligaron a utilizar un número próximo a 40.

La cota de cada pluviómetro virtual y la relación cota-precipitación genérica para la isla bastan para calcular la precipitación máxima media anual y su desviación típica y por tanto extrapolar la precipitación a los períodos de retorno objetivo, aumentando el número de datos que se utilizan para representar la pluviometría extrema.

### Cálculo de isolíneas

Los mapas de isolíneas de precipitación máxima diaria se obtuvieron a partir de las precipitaciones del ajuste final a la distribución log-Pearson tipo III regionalizado de los pluviómetros reales a los que se añadieron los virtuales.

Tras analizar la bondad de los resultados obtenidos por 7 diferentes métodos de ajuste, el ajuste de isolíneas se realizó utilizando funciones de base radial, similares a los variogramas que emplea el conocido método de *kriging*, que definen el conjunto óptimo de pesos a aplicar a los puntos con dato para interpolar los puntos sin dato en la malla cuadrangular que se utiliza como base de cálculo y dibujo en todos los métodos.

Debido a la bondad del ajuste, se utilizaron las funciones multicuadráticas sin factor de suavización, que permiten obtener valores interpolados iguales a los de partida en los puntos con dato.

Las características de la malla de interpolación que se utilizó para representar las isolíneas fueron las siguientes:

- Paso de malla: 100 m

- X mínimo: 311,200
- X máximo: 390,600
- Y mínimo: 3,098,100
- Y máximo: 3,163,000
- Número de filas: 650
- Número de columnas: 795
- Número total de nudos: 516,750

Una vez descartados para el cálculo mediante ajustes preliminares los observatorios que distorsionan las tendencias regionales de la precipitación se realizó el cálculo de isolíneas con 64 puntos con dato, 19 reales y 45 virtuales. Los mapas resultantes del proceso de cálculo reflejan, como era de esperar, el relieve de la isla.

De la observación de las curvas isomáximas de precipitación en 24 horas y

- En términos generales, los ajustes obtenidos son coherentes con las singularidades de la isla.
- Se aprecian especiales dificultades en el ajuste de isohietas en la península de Anaga debido a la gran magnitud de los gradientes pluviométricos y a la diferencia en las características pluviométricas entre las vertientes N y S de la misma.
- Resultaron también problemáticas en el ajuste la zona Sur de la isla, consecuencia de la escasez de pluviómetros, así como El Tanque-Santiago del Teide y Fasnía-Güimar. Para conseguir coherencia en ellas, se modificó el número de pluviómetros virtuales.
- No se han extrapolado las isolíneas a las Cañadas del Teide, por una parte teniendo en cuenta su irrelevancia para los objetivos del estudio debido a su carácter endorreico y por otra porque no existen pluviómetros en la zona, se desconoce su régimen pluviométrico, que habría que extrapolarlo de observatorios alejados que no reflejan la singularidad pluviométrica que cabe esperar.
- A pesar de éstos inconvenientes, la calidad de las isolíneas obtenidas es suficiente para el empleo en el diseño de tormentas de proyecto para la modelación hidrológica

Los mapas de isomáximas de precipitación diaria, que se han elaborado para cada uno de los períodos de retorno analizados (10, 25, 50, 100 y 500 años), se han publicado en la página web del Consejo Insular de Aguas de Tenerife ([www.aguastenerife.org](http://www.aguastenerife.org)), por lo que están disponibles para su consulta o descarga (imágenes y ficheros vectoriales)

A modo de ejemplo, se muestra a continuación una viñeta del mapa de isohietas generado para período de retorno 500 años.

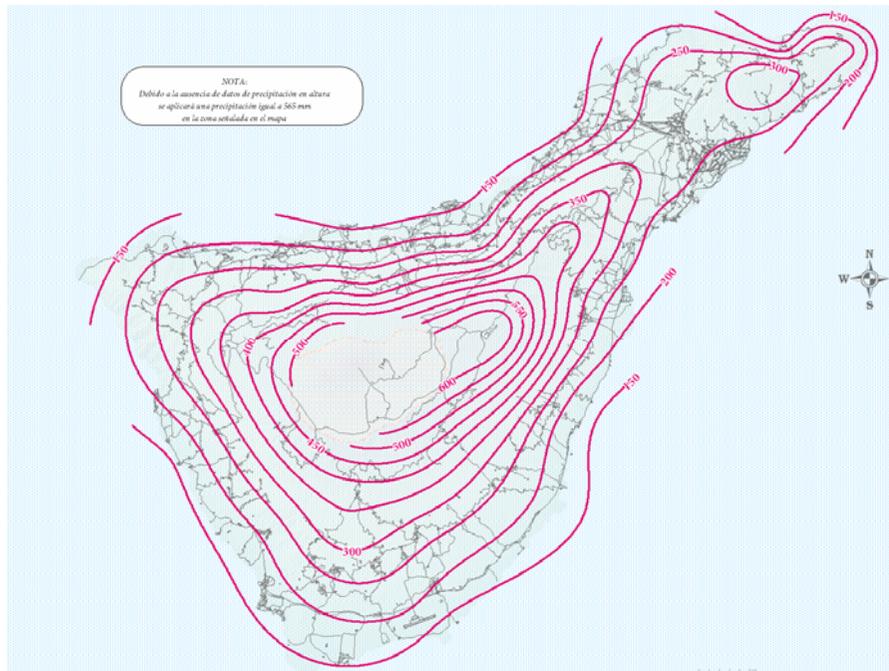


Figura 4 Mapa de isohietas máximas diarias para T=500 años

### Conversión en capas raster

Los modelos hidrológicos necesitan partir de precipitación definida en celdas del mismo tamaño –5 m- y límites que el modelo digital del terreno que sirve de soporte físico a la Guía, de forma que las celdas resulten exactamente superponibles.

Para llevar a cabo ésta tarea se parte de la precipitación en la malla cuadrangular que envuelve la cuenca a intervalos de 100 m, que se utilizó para dibujar las isohietas para cada período de retorno. Los cálculos se realizaron con la versión 3.0 de la aplicación Vertical Mapper, extensión bi y tridimensional del Sistema de Información Geográfica MapInfo 8.0.

### II.1.3. Caracterización de la intensidad de precipitación

La caracterización de la intensidad de precipitación busca las propiedades más relevantes de la distribución de la lluvia en las tormentas para conocer la frecuencia de los distintos patrones de lluvia

así como las frecuencias de presentación de las intensidades de lluvia, con el objetivo de preparar las tormentas de cálculo que alimentarán el modelo de simulación hidrológica de la Guía.

### Intensidades de lluvia. Curvas IDF

El primer resultado que se busca al analizar los datos pluviográficos son las intensidades de lluvia, que por lo general se resumen en las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (abreviadamente IDF), y que ofrecen las propiedades puntuales de la pluviometría intensa en un pluviógrafo estableciendo relaciones entre la intensidad de una lluvia y su duración para cada frecuencia de superación.

Las curvas IDF siempre se refieren a un punto, y expresan la probabilidad de que en el mismo se iguale o supere una lluvia de duración e intensidad dada. Su utilidad es básica porque son la única información que permite al calculista definir las intensidades de la tormenta de proyecto una vez especificada su probabilidad.

### Metodología

Para calcular las curvas IDF, se parte de los registros históricos de los pluviómetros con series más largas para a continuación abordar los pasos siguientes:

- Preparación de las series temporales de intensidad de lluvia para diferentes duraciones. Se utilizan las series anuales, formadas por las intensidades máximas de lluvia en el año para cada duración
- Ajuste de las series temporales a distribuciones de frecuencia
- Extrapolación a los períodos de retorno deseados
- Dibujo de las curvas individuales

Para componer las series diarias se rastrean las series de lluvia de cada estación a intervalos diezminutales para las diferentes duraciones estudiadas (10, 20, 30 minutos, 1, 2, 3, 4, 6, 12 y 24 horas) hasta encontrar la intensidad máxima en cada año para cada duración de lluvia.

A continuación se ajustan las series de cada duración a la ley estadística extremal de Gumbel aplicando el clásico procedimiento de los factores de frecuencia, obteniendo con ello las intensidades para los diferentes períodos de retorno.

### Resultados obtenidos

Como en el estudio de 2003, y con la excepción de las estaciones 447A Los Rodeos Aeropuerto Tenerife Sur y 449C Santa Cruz de Tenerife Observatorio oficial, se parte de una información demasiado corta en el tiempo como para obtener curvas IDF estables y razonables.

Los ajustes de los datos de intensidades de lluvia a la distribución de Gumbel ofrecen los siguientes resultados (curvas IDF) en forma tabular y gráfica

Tabla 4. Curvas IDF calculadas para la isla de Tenerife

		Intensidad de lluvia (mm/h) para duración (min)									
		10	20	30	60	120	180	240	360	720	1440
<b>447A Los Rodeos Aeropuerto Tenerife Norte</b>											
Nº valores	40										
Media		44.45	29.29	24.38	16.77	11.66	9.25	8.02	6.22	3.82	2.34
Dev. típica		17.85	9.15	8.66	6.26	4.58	3.79	3.64	2.87	1.90	1.38
P. retorno	Kt										
2.33	0.030	45.00	29.57	24.64	16.96	11.80	9.36	8.13	6.30	3.87	2.38
5	0.837	59.39	36.95	31.62	22.00	15.50	12.42	11.07	8.62	5.41	3.49
10	1.494	71.12	42.96	37.31	26.11	18.51	14.91	13.46	10.50	6.66	4.40
25	2.324	85.94	50.55	44.50	31.31	22.31	18.06	16.48	12.88	8.24	5.55
50	2.940	96.93	56.19	49.83	35.16	25.13	20.40	18.72	14.65	9.41	6.41
100	3.551	107.84	61.78	55.12	38.99	27.93	22.72	20.95	16.40	10.57	7.25
500	4.964	133.06	74.70	67.34	47.83	34.40	28.08	26.09	20.46	13.26	9.21
1000	5.571	143.90	80.26	72.60	51.63	37.18	30.38	28.30	22.20	14.41	10.05
5000	6.980	169.05	93.16	84.80	60.45	43.64	35.73	33.43	26.24	17.09	12.00
10000	7.587	179.89	98.71	90.05	64.24	46.42	38.03	35.64	27.98	18.25	12.84
<b>449C Santa Cruz Observatorio Oficial (AEMET)</b>											
Nº valores	44										
Media		46.20	35.18	29.59	19.92	12.42	9.40	7.49	5.48	3.22	1.84
Dev. típica		24.60	20.39	20.47	17.50	12.58	9.27	7.32	5.12	2.61	1.46
P. retorno	Kt										
2.33	0.028	46.90	35.76	30.17	20.42	12.78	9.66	7.70	5.63	3.29	1.88
5	0.829	66.60	52.09	46.56	34.43	22.86	17.08	13.56	9.73	5.39	3.06
10	1.481	82.64	65.38	59.92	45.84	31.06	23.13	18.34	13.07	7.09	4.01
25	2.305	102.91	82.18	76.79	60.26	41.43	30.77	24.37	17.29	9.25	5.21
50	2.917	117.95	94.65	89.30	70.96	49.13	36.44	28.85	20.42	10.85	6.11
100	3.523	132.87	107.02	101.72	81.58	56.76	42.06	33.29	23.53	12.43	7.00
500	4.926	167.36	135.61	130.43	106.12	74.41	55.06	43.56	30.71	16.10	9.05
1000	5.528	182.19	147.90	142.77	116.67	82.00	60.65	47.98	33.79	17.68	9.93
5000	6.928	216.61	176.42	171.41	141.15	99.61	73.62	58.22	40.96	21.34	11.98
10000	7.530	231.43	188.71	183.75	151.69	107.19	79.21	62.63	44.04	22.91	12.86
<b>429I Reina Sofia Aeropuerto Tenerife Sur</b>											
Nº valores	18										
Media		50.36	31.93	26.82	18.79	12.27	8.75	6.86	4.63	2.68	1.57
Dev. típica		57.29	33.53	26.89	17.05	11.32	7.56	5.58	3.79	1.91	1.06
P. retorno	Kt										
2.33	0.056	53.56	33.81	28.32	19.75	12.91	9.17	7.17	4.85	2.79	1.62
5	0.935	103.90	63.27	51.95	34.73	22.85	15.82	12.07	8.18	4.47	2.56
10	1.650	144.91	87.27	71.20	46.93	30.96	21.23	16.07	10.89	5.84	3.32
25	2.555	196.71	117.59	95.51	62.34	41.19	28.06	21.11	14.32	7.57	4.28
50	3.226	235.15	140.08	113.55	73.78	48.79	33.14	24.85	16.86	8.86	5.00
100	3.891	273.30	162.40	131.46	85.13	56.32	38.17	28.56	19.38	10.13	5.70
500	5.430	361.45	214.00	172.83	111.36	73.74	49.80	37.14	25.21	13.08	7.34
1000	6.092	399.35	236.18	190.62	122.64	81.23	54.80	40.83	27.72	14.34	8.04
5000	7.627	487.31	287.65	231.91	148.81	98.61	66.41	49.39	33.54	17.28	9.68
10000	8.288	525.19	309.82	249.69	160.08	106.10	71.41	53.08	36.05	18.55	10.38

Estación pluviográfica 447A Rodeos-Aeropuerto Norte

Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF

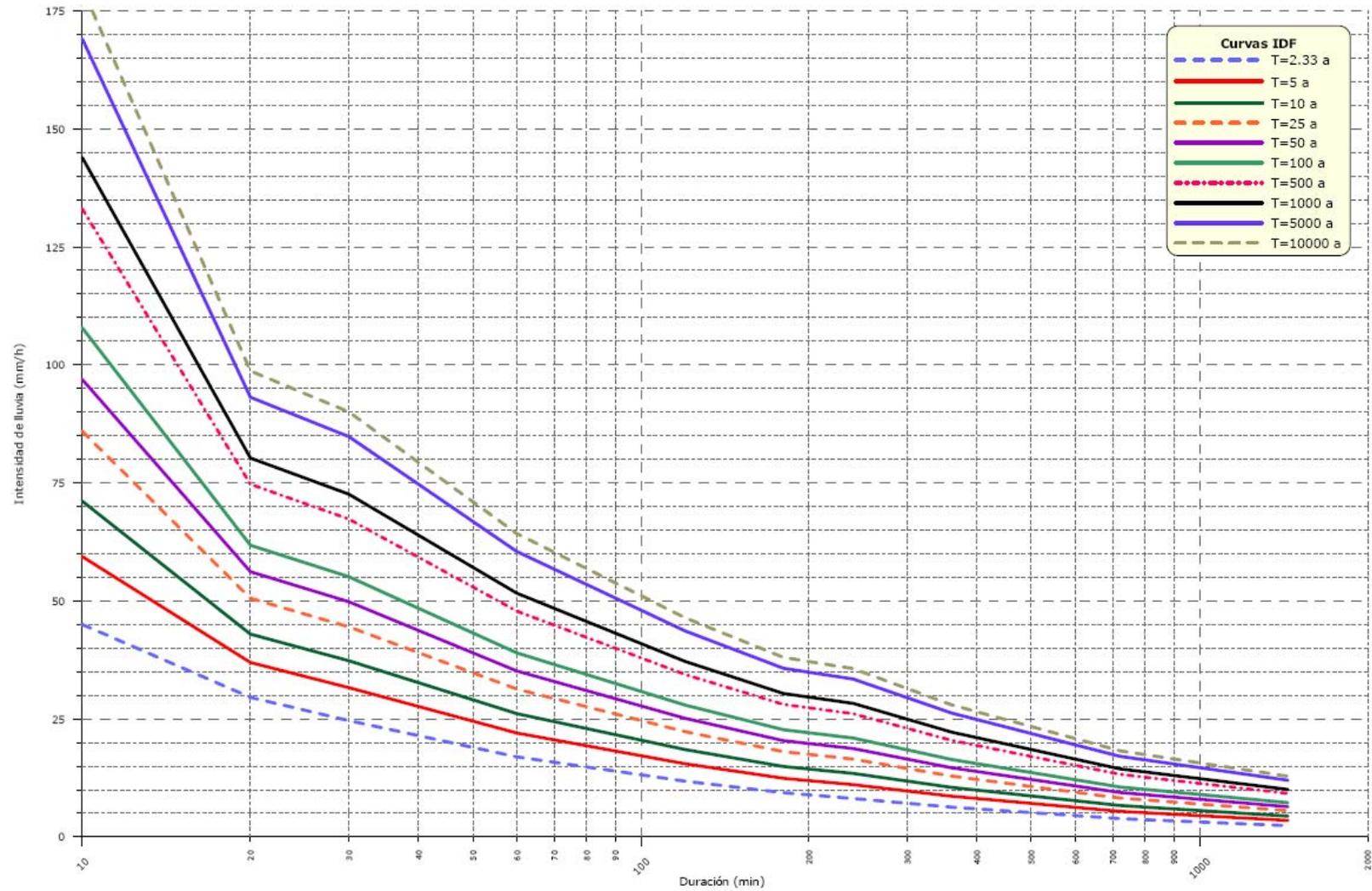


Figura 5 Curvas IDF . Estación pluviográfica 447

Estación pluviográfica 449C Santa Cruz de Tenerife. Observatorio Oficial  
Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF

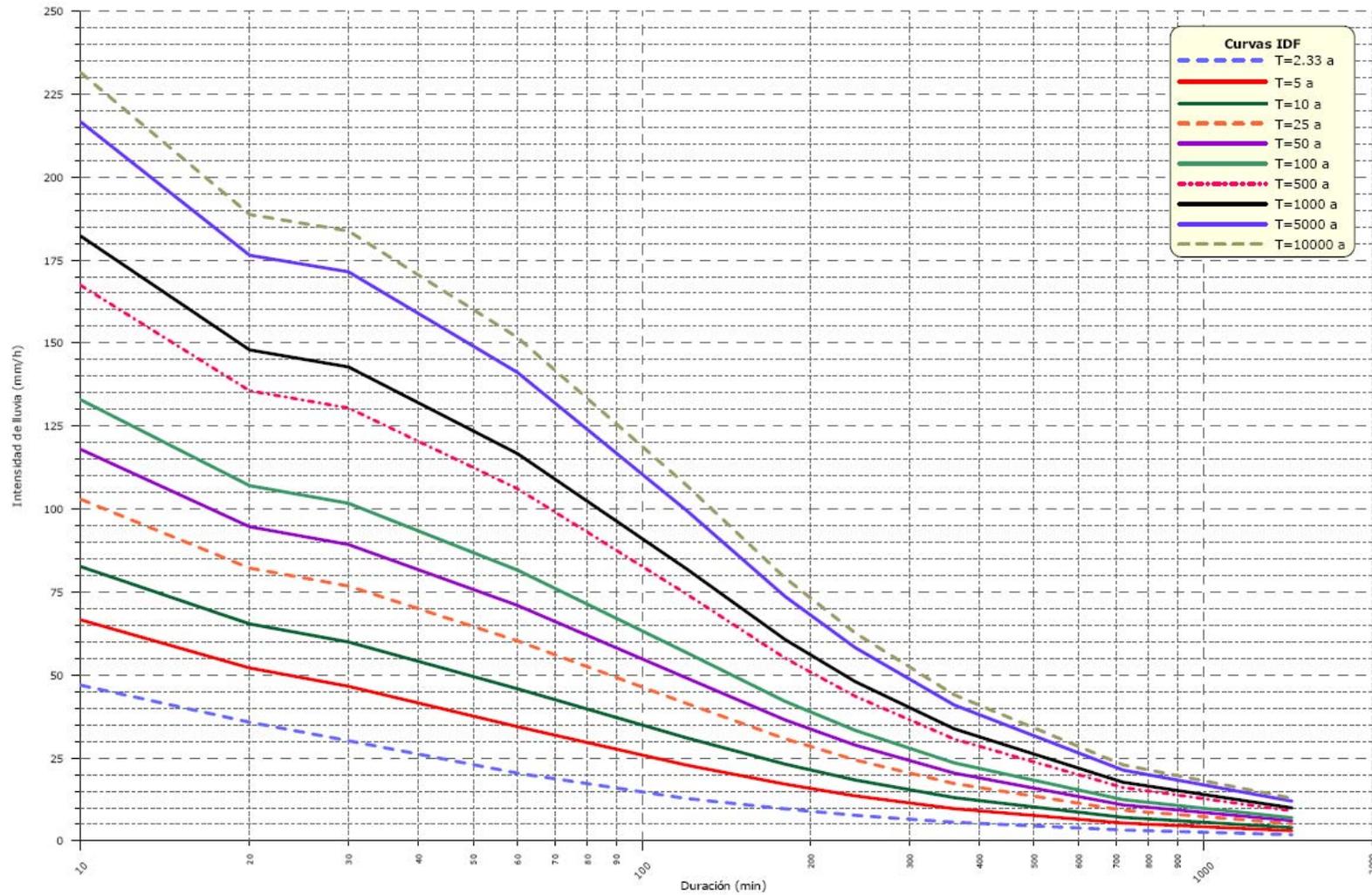


Figura 6 Curvas IDF . Estación pluviográfica 449C

Estación pluviográfica 429I Reina Sofía Aeropuerto Tenerife Sur  
Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF

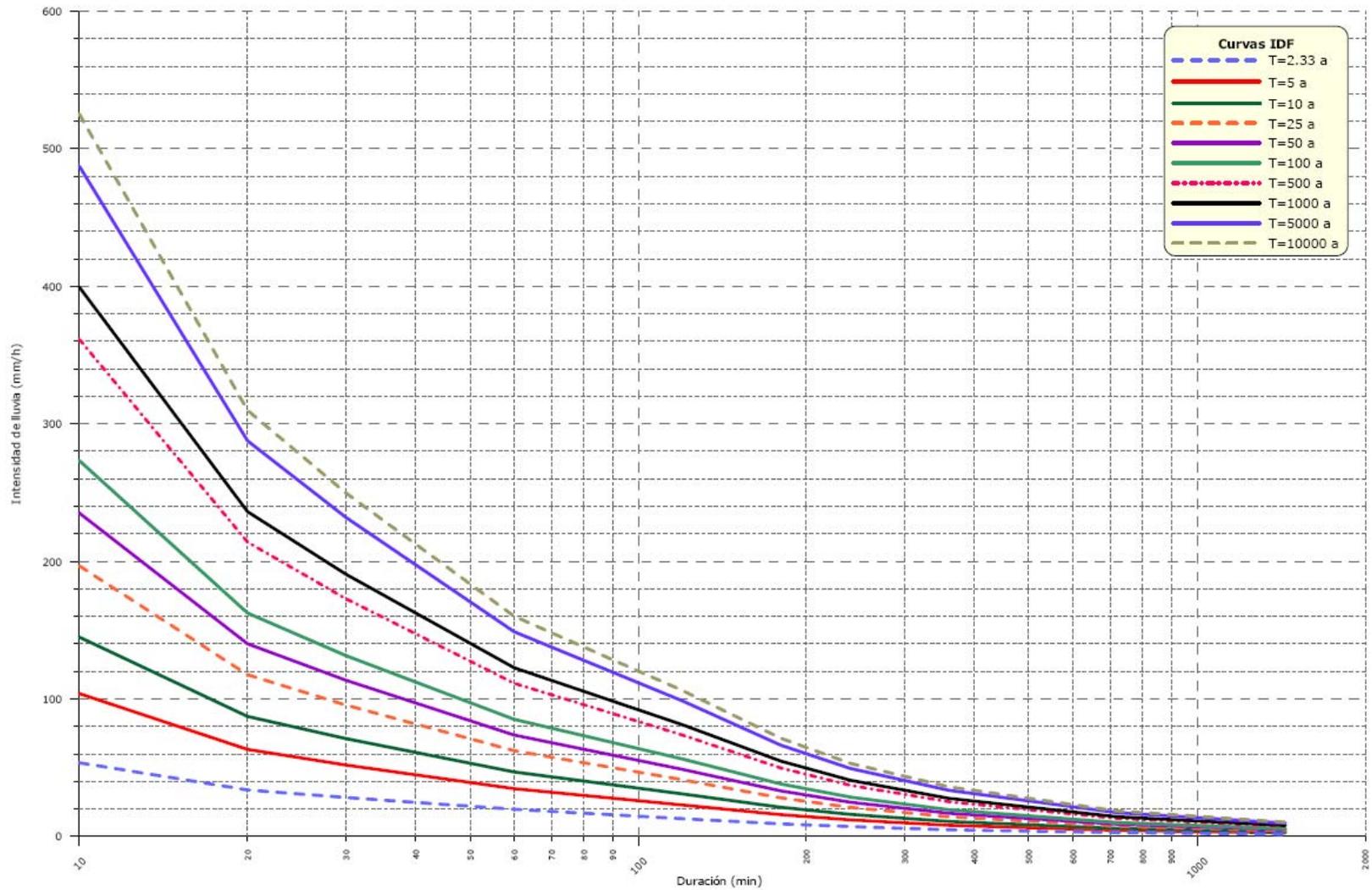


Figura 7 Curvas IDF . Estación pluviográfica 429I

Para obtener curvas IDF que puedan ser aplicadas a cualquier punto de la isla, es necesario regionalizar las curvas puntuales y trabajar con datos adimensionales. Las curvas adimensionales representan para cada duración de lluvia el cociente entre las precipitaciones de dicha duración y la de 24 horas, y son una expresión de la torrencialidad de las lluvias en una región.

Afortunadamente, es un hecho observado que, cuando se dispone de series largas de datos, los resultados del parámetro adimensional  $P_d/P_{24}$  obtenidos para cada duración de lluvia son iguales para todos los períodos de retorno y por lo tanto independientes de el, gracias a lo cual las curvas IDF de una estación se pueden resumir en una sola adimensional que no depende de la probabilidad.

A continuación se reproducen las curvas adimensionales en las estaciones citadas. Las curvas son poco estables debido a la escasa longitud de las series históricas.

La tabla y figura siguientes comparan las curvas adimensionales obtenidas:

Tabla 5 Curvas IDF adimensionales para la isla de Tenerife

	Intensidad de lluvia (mm/h) para duración (min)									
	10	20	30	60	120	180	240	360	720	1440
<b>447A Los Rodeos Aeropuerto Tenerife Norte</b>										
2.33	13.1	17.3	21.6	29.7	41.4	49.2	57.0	66.3	81.4	100
5	11.8	14.7	18.9	26.2	37.0	44.4	52.8	61.6	77.4	100
10	11.2	13.5	17.6	24.7	35.0	42.3	50.9	59.6	75.6	100
25	10.7	12.6	16.7	23.5	33.5	40.7	49.5	58.0	74.1	100
50	10.5	12.2	16.2	22.9	32.7	39.8	48.7	57.2	73.4	100
100	10.3	11.8	15.8	22.4	32.1	39.2	48.1	56.5	72.9	100
500	10.0	11.3	15.2	21.6	31.1	38.1	47.2	55.5	72.0	100
1000	9.9	11.1	15.1	21.4	30.8	37.8	46.9	55.2	71.7	100
5000	9.8	10.8	14.7	21.0	30.3	37.2	46.4	54.7	71.2	100
10000	9.7	10.7	14.6	20.8	30.1	37.0	46.3	54.5	71.1	100
<b>Promedio</b>	<b>10.7</b>	<b>12.6</b>	<b>16.6</b>	<b>23.4</b>	<b>33.4</b>	<b>40.6</b>	<b>49.4</b>	<b>57.9</b>	<b>74.1</b>	<b>100</b>
<b>449C Santa Cruz. Observatorio Oficial</b>										
2.33	17.3	26.4	33.4	45.1	56.5	64.1	68.1	74.7	87.4	100
5	15.1	23.7	31.7	47.0	62.3	69.9	74.0	79.6	88.2	100
10	14.3	22.6	31.1	47.6	64.6	72.1	76.2	81.5	88.5	100
25	13.7	21.9	30.7	48.2	66.2	73.8	77.9	82.9	88.7	100
50	13.4	21.5	30.5	48.4	67.0	74.6	78.7	83.6	88.8	100
100	13.2	21.2	30.3	48.6	67.6	75.1	79.3	84.1	88.9	100
500	12.8	20.8	30.0	48.9	68.5	76.1	80.2	84.8	89.0	100
1000	12.7	20.7	30.0	49.0	68.8	76.4	80.5	85.1	89.0	100
5000	12.6	20.5	29.8	49.1	69.3	76.8	81.0	85.5	89.1	100
10000	12.5	20.4	29.8	49.2	69.5	77.0	81.2	85.6	89.1	100
<b>Promedio</b>	<b>13.8</b>	<b>22.0</b>	<b>30.7</b>	<b>48.1</b>	<b>66.0</b>	<b>73.6</b>	<b>77.7</b>	<b>82.7</b>	<b>88.7</b>	<b>100</b>
<b>429I Reina Sofia. Aeropuerto Tenerife Sur</b>										
2.33	22.9	28.9	36.3	50.7	66.2	70.6	73.6	74.6	85.8	100
5	28.2	34.3	42.3	56.5	74.4	77.3	78.6	79.9	87.3	100

	Intensidad de lluvia (mm/h) para duración (min)									
	10	20	30	60	120	180	240	360	720	1440
10	30.3	36.5	44.7	58.9	77.7	79.9	80.6	82.0	87.9	100
25	31.9	38.1	46.5	60.7	80.2	81.9	82.2	83.6	88.4	100
50	32.7	38.9	47.4	61.5	81.4	82.9	82.9	84.4	88.6	100
100	33.3	39.5	48.0	62.2	82.3	83.7	83.5	85.0	88.8	100
500	34.2	40.5	49.1	63.2	83.7	84.8	84.3	85.9	89.1	100
1000	34.5	40.8	49.4	63.5	84.2	85.2	84.6	86.2	89.2	100
5000	35.0	41.3	49.9	64.1	84.9	85.8	85.1	86.7	89.3	100
10000	35.1	41.5	50.1	64.3	85.2	86.0	85.2	86.8	89.4	100
<b>Promedio</b>	<b>31.8</b>	<b>38.0</b>	<b>46.4</b>	<b>60.6</b>	<b>80.0</b>	<b>81.8</b>	<b>82.1</b>	<b>83.5</b>	<b>88.4</b>	<b>100</b>

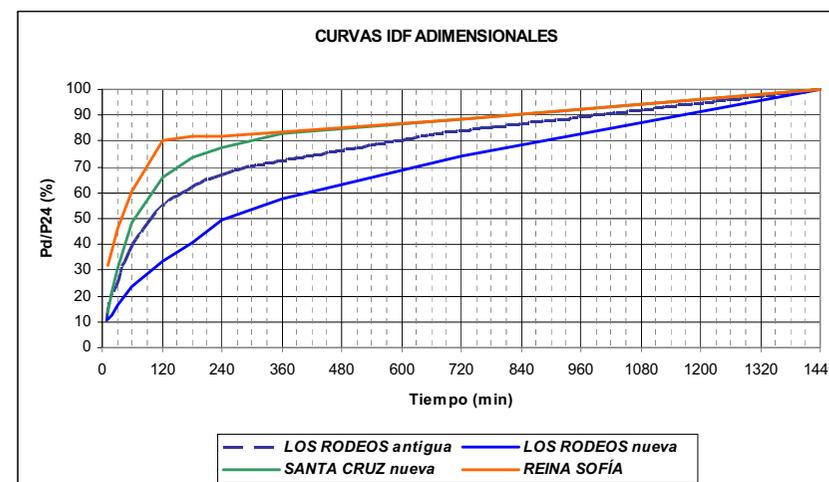


Figura 8 Curvas IDF adimensionales

**Conclusiones**

Un problema general que se presenta habitualmente en el cálculo de las curvas IDF es la necesidad de incluir en las series anuales los valores correspondientes a años con registro incompleto (los más frecuentes) para no perder longitud de serie. Esta elección supone por una parte dejar de utilizar años manifiestamente incompletos y por otra dar como válidos valores máximos anuales obtenidos de registros incompletos.

Las curvas IDF obtenidas aún siguen siendo de calidad insuficiente. De los tres observatorios con longitud de serie en principio suficiente para la extrapolación hay que descartar uno (Reina Sofía), cuyos resultados resultan anormales probablemente por problemas en el registro de datos. Cuando la

serie crezca en longitud, cobrarán un enorme interés al representar características pluviográficas típicas del Sur de la isla.

Los dos observatorios restantes (Los Rodeos y Santa Cruz de Tenerife) se encuentran tan próximos entre sí que no facilitan la extrapolación a otras zonas de la isla. Para duraciones cortas de tormenta, las curvas IDF de Los Rodeos dan valores irreales, demasiado bajos y dispares en comparación a los de Santa Cruz. Precisamente ésta fuerte diferencia es el aspecto más dudoso de la caracterización pluviométrica.

Las razones de tal discrepancia no se conocerán hasta que la longitud de las series crezca con el paso del tiempo. Entre las causas, habría que pensar sobre todo en la situación geográfica:

- Los Rodeos está situada en un collado elevado con características climatológicas y por tanto pluviométricas muy diferentes de las de Santa Cruz. Aparentemente, la precipitación debería ser más torrencial que lo que se desprende de los datos observados.
- La orientación de Santa Cruz es Sur, donde en principio cabe esperar la mayor torrencialidad.

Concluyendo, resulta difícil obtener intensidades de lluvia extrapolables a toda la isla, por lo que en la Guía se utiliza la curva IDF de Santa Cruz para el conjunto de la isla como opción más razonable.

### **Análisis de la forma de las tormentas**

Para completar el estudio de las lluvias se ha realizado un análisis de los patrones de tormenta (hietogramas) más frecuentes. Para ello se comenzó identificando y separando del registro pluviométrico las tormentas más intensas. A continuación se analizaron sus propiedades para asignar la probabilidad de que se repita el patrón y obtener de este modo tormentas patrón para la isla aplicarlas a los métodos hidrológicos.

#### *Identificación y selección de tormentas*

Para definir una tormenta de proyecto en un proyecto hidrológico, es necesario especificar las siguientes características:

- Precipitación total de la tormenta
- Duración de la tormenta
- Distribución temporal
- Distribución espacial
- Movimiento

Los análisis realizados en éste trabajo permiten obtener información de interés para la preparación de las tres primeras características y por lo tanto acometer proyectos que exijan la realización de estudios hidrológicos extremos.

Para obtener resultados relativos a los dos últimos puntos se necesitan una red de pluviógrafos funcionando sincrónicamente mucho más densa que la disponible en la actualidad.

### **Criterio de definición de tormenta**

A los efectos del estudio, se denomina tormenta al conjunto de intervalos de lluvia pertenecientes a un meteoro específico. Una tormenta es conceptualmente un suceso, como habitualmente se emplea en la práctica hidrológica.

Para agrupar los intervalos de lluvia del registro de una estación pluviográfica en tormentas, es necesario rastrear la serie continua de precipitación a intervalos diezminutales y proceder a la identificación del comienzo y terminación de cada suceso detectado. Las tormentas encontradas son elementos independientes preparados para el análisis estadístico.

*Criterio: Se considera que una tormenta concluye -y por lo tanto las lluvias posteriores formarán parte de una nueva tormenta- cuando durante T horas se registre una precipitación inferior a P mm.*

Un criterio de tormenta demasiado estricto, obligaría a separar el pluviograma en muchas tormentas cortas, y se perdería información sobre las intensidades de lluvia a intervalos largos. Por el contrario, un criterio poco estricto incluiría dentro de una tormenta demasiados intervalos sin precipitación conectados con intervalos posteriores de lluvia, combinando varios fenómenos meteorológicos en uno sólo. Del criterio se desprendería que las tormentas son muy largas y de escasa intensidad media.

En Tenerife, una vez tanteados diversos criterios, se comprobó que uno adecuado es considerar concluida una tormenta cuando durante 2 horas la precipitación recogida no supera 2 mm.

### **Resultados. Selección de tormentas**

A continuación se pasó a abordar el complejo proceso de cálculo que lleva a detectar las tormentas en las series pluviográficas de cada observatorio -separando el registro continuo en trozos- y almacenar sus características.

Para ello se aplicaron algoritmos de cálculo desarrollados específicamente para el trabajo que analizan en cada observatorio el chorro continuo de información pluviográfica diezminutal comprobando el cumplimiento del criterio de tormenta y grabando los resultados -incluido el hietograma- cuando concluye cada unidad detectada.

El número total de tormentas detectadas en el proceso anterior asciende a 3235, que incluyen un importante número de episodios de lluvia sin interés en el estudio ya que no producen escorrentía apreciable. El siguiente paso es seleccionar de ellas las más intensas, para reducir el tratamiento de datos a un subconjunto que representa la pluviometría extrema conocida, capaz de producir avenidas.

Las 376 tormentas que fueron seleccionadas cumplieron el criterio siguiente:

Intensidad de lluvia en 10 minutos  $\geq 50$  mm/h ó

Intensidad de lluvia en 20 minutos  $\geq 30$  mm/h ó

Intensidad de lluvia en 30 minutos  $\geq 20$  mm/h ó

Intensidad de lluvia en 60 minutos  $\geq 10$  mm/h ó

Intensidad de lluvia en 120 minutos  $\geq 5$  mm/h ó

Precipitación total de la tormenta  $\geq 30$  mm

Estas tormentas se utilizan en los cálculos posteriores

#### **Patrones de distribución temporal de tormentas**

El objetivo del análisis de distribución temporal de las tormentas es encontrar las formas más frecuentes de los hietogramas de las tormentas intensas, asociando si resulta posible probabilidades de presentación.

Los proyectistas pueden emplear los hietogramas obtenidos para efectuar cálculos hidrológicos complejos con ventaja sobre otros procedimientos de definición de hietogramas sintéticos por haberse deducido de datos reales de la isla.

Para analizar la distribución temporal de las tormentas se ha empleado el método de Huff, modificado para trabajar con deciles, que permite extrapolar los resultados regionalmente al trabajar con datos adimensionales (proporciones de la lluvia total y fracciones de la duración de la tormenta) procedentes de amplias zonas. Los datos adimensionales permiten trabajar simultáneamente con tormentas procedentes de diferentes observatorios.

El análisis se ha realizado partiendo de los hietogramas de 339 tormentas seleccionadas a partir de las del apartado 4.1.3. del conjunto de observatorios, y excluyendo las de muy corta duración, que no aportan conocimiento. La agrupación de tormentas se justifica por la escasez de tormentas intensas de que se dispone.

Aunque lo lógico sería analizar las tormentas agrupadas en diferentes rangos por su duración, para observar las diferencias entre las tormentas cortas y las de mayor duración, la escasez de tormentas apenas deja un conjunto suficiente para analizar los dos grupos de mayor importancia para el conocimiento de las características pluviométricas de la isla que son las siguientes:

- tormentas de duración inferior a 6 horas (194 tormentas) las que mayor interés presentan en los estudios hidrológicos en la isla debido al tamaño de las cuencas.

- tormentas de duración superior a 6 horas (145 tormentas)

#### **Metodología aplicada**

El método de Huff analiza el crecimiento porcentual de las lluvias al transcurrir la tormenta y por lo tanto las variaciones en la velocidad de acumulación. El cálculo comienza adimensionalizando cada tormenta con el siguiente procedimiento:

- Se divide la tormenta en 10 intervalos (deciles) de igual duración (4 –cuartiles- en el método original de UHF). La duración de cada intervalo representa una décima parte de la duración total de la tormenta
- Se calcula la precipitación que corresponde a cada intervalo, interpolando en los hietogramas que sirven de base del cálculo
- Se convierten las precipitaciones obtenidas en el punto anterior en valores adimensionales porcentuales con relación a la precipitación total de la tormenta
- Se calcula la curva de precipitación acumulada (pluviograma adimensional) sumando sucesivamente las precipitaciones parciales de los intervalos.

#### **Análisis. Curvas de diseño de hietogramas**

Al concluir los cálculos, cada tormenta queda resumida en un conjunto de 10 valores que representan el ritmo al que se acumuló la precipitación. Para caracterizar los hietogramas, se realizó una distribución de probabilidades de acumulación de lluvia, ordenando independientemente para cada decil los valores de precipitación acumulada en el grupo de tormentas y buscando a continuación

- la combinación que representa la tormenta que acumula con mayor rapidez (probabilidad mín)
- interpolando las que acumulan precipitación a un ritmo igual al 10% de las tormentas que más rápido acumulan, 25%, 50% (corresponde a los valores representados en la tabla anterior), 75%, 90%
- la tormenta más retrasada (probabilidad máx).

Las curvas obtenidas son el resultado final del estudio de forma de las tormentas y permiten elaborar hietogramas para cualquier probabilidad de acumulación por desacumulación.

Las curvas que se obtienen del proceso permiten –para una probabilidad de presentación seleccionada- obtener los hietogramas adimensionales desacumulando los valores de cada dos deciles consecutivos.

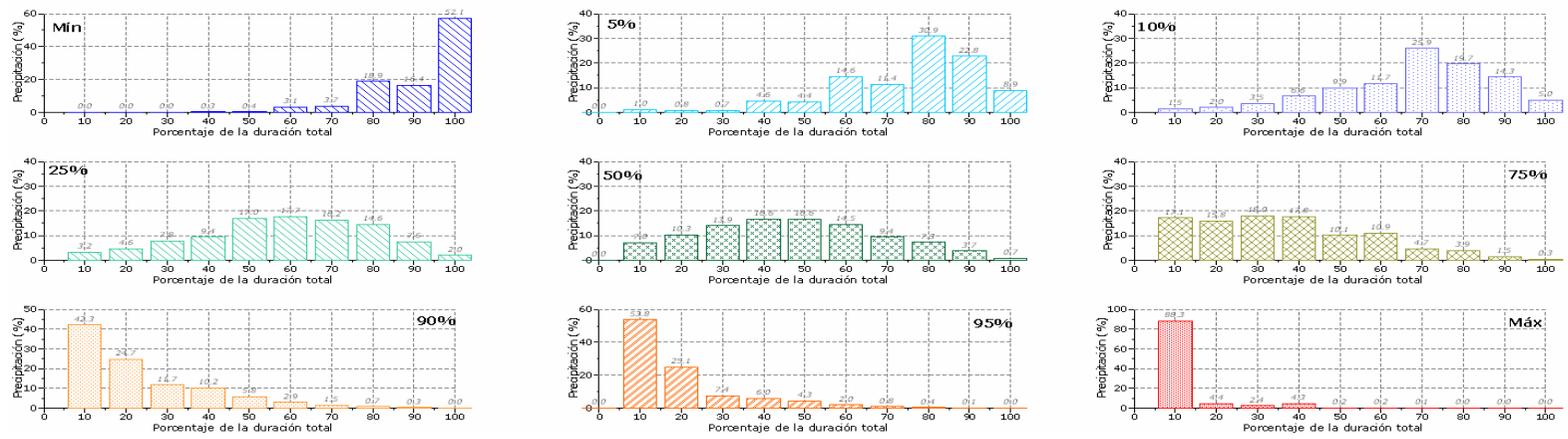
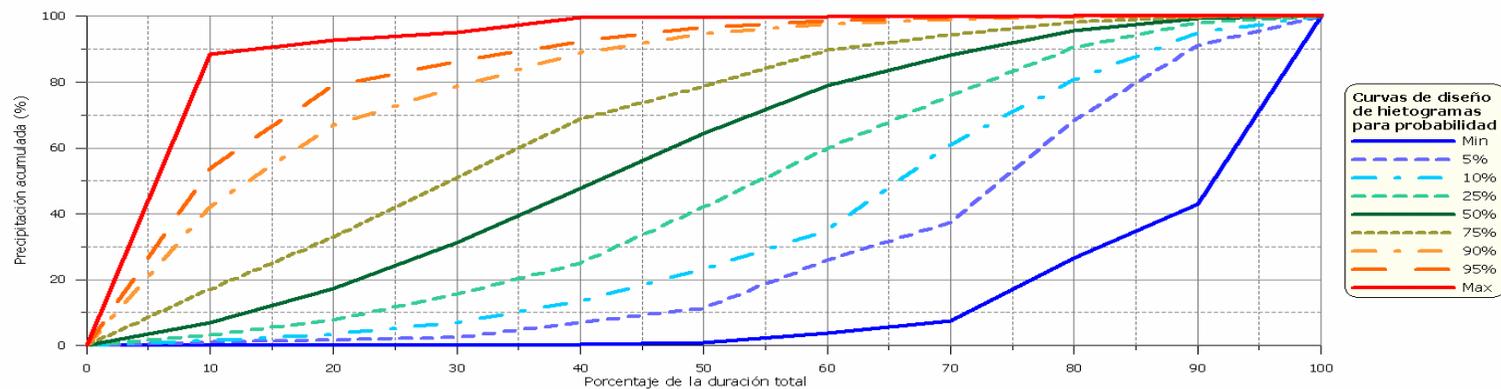
**Utilización de los patrones**

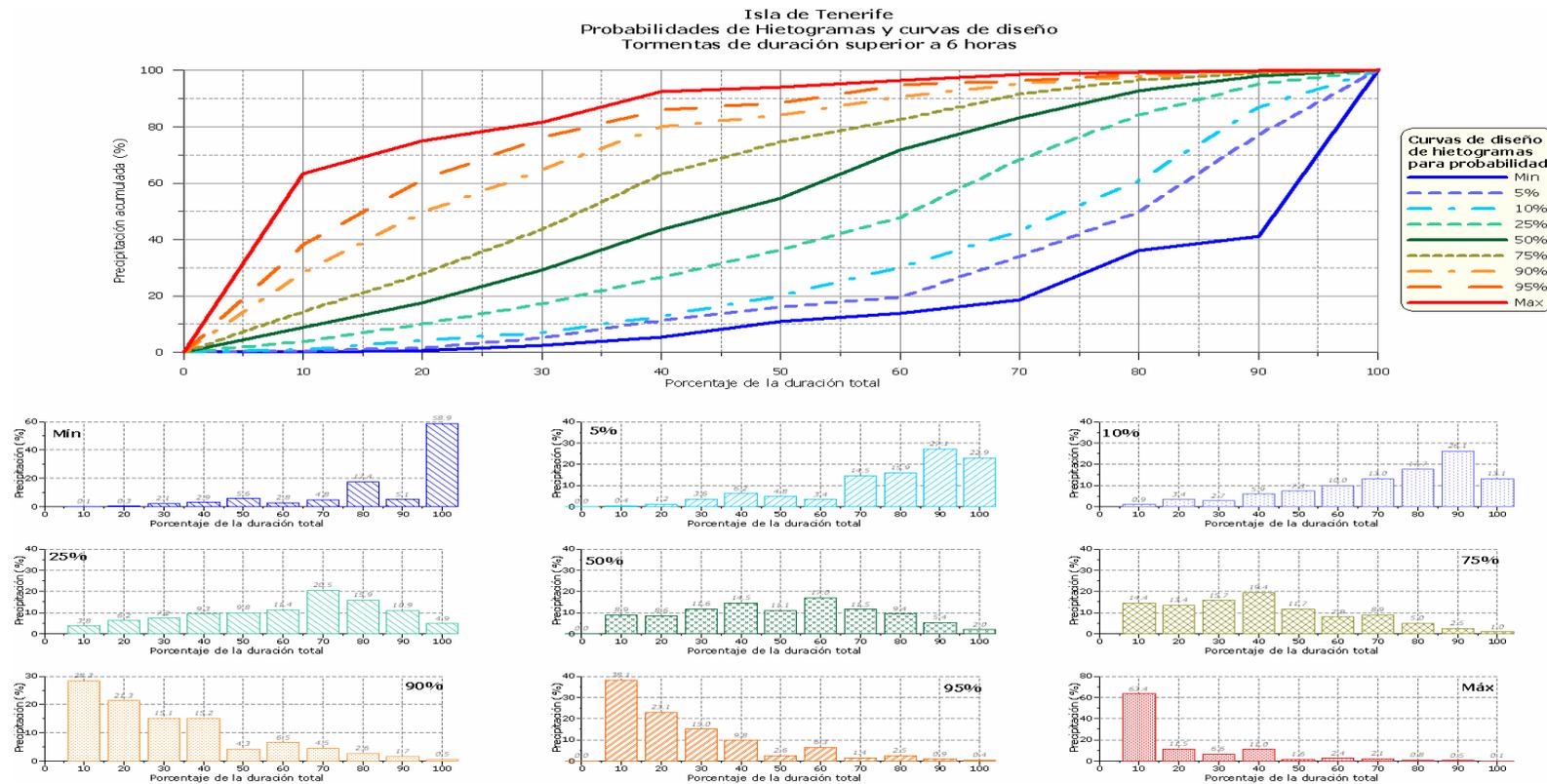
Los patrones de tormenta suponen una síntesis estadística de las tormentas más importantes registradas en la isla. Por éste motivo, la utilización de patrones en tormentas de proyecto ha de hacerse con cautela, ya que a las probabilidades propias de la precipitación máxima (isohietas) se suman las probabilidades de la forma de tormenta (hietograma) y otras (distribución espacial, movimiento, etc.). Así, al utilizar patrones de un determinado nivel de probabilidad se multiplicaría la probabilidad final de la tormenta y se generarían episodios demasiado conservadores, fuera de la realidad pluviométrica.

Sin embargo, el patrón medio de tormenta es una excelente herramienta de proyecto, porque permite cargar la responsabilidad de la probabilidad a la precipitación total, más fácil de controlar y acotar.

Por éste motivo, se recomienda utilizar el patrón medio con generalidad, reservando los patrones alternativos para casos donde se desee adelantar o retrasar la aparición de las intensidades máximas de la tormenta

Isla de Tenerife  
Probabilidades de Hietogramas y curvas de diseño  
Tormentas de duración inferior a 6 horas





## II.2. Caracterización del medio físico

El objetivo inicial de la Guía es determinar los caudales de referencia para condiciones de avenida en los extremos de cada uno de los tramos que componen la red de cauces declarados como oficiales en la isla de Tenerife.

No obstante, y cómo se comprobará más adelante, por la forma en que se ha desarrollado el trabajo, también será posible obtener el caudal en cualquier otro punto de la isla, con independencia de que el punto coincida con un cauce oficial o no.

El número final de puntos de cálculo asciende a 22,189, de los cuales 10,013 son puntos de confluencia de cauces en la red fluvial oficial y el resto son los extremos de las cabeceras de los cauces, los puntos aguas abajo de las confluencias y puntos intermedios resultantes de la subdivisión de cauces demasiado largos. 452 de éstos cauces vierten directamente al mar, y el resto son afluentes.

El cálculo del caudal en los puntos predeterminados se realiza con el apoyo de una aplicación informática que consulta las coberturas raster preparadas con anterioridad que contienen los parámetros físicos. La aplicación es capaz de preparar un fichero para simular con el modelo matemático HEC-1. La aplicación también es capaz de lanzar el trabajo de simulación así como de extraer los resultados más notables del cálculo y presentarlos en un formato estándar.

La base fundamental del desarrollo es el modelo digital del terreno (MDT). El modelo digital esta discretizado en celdas de 10 metros de lado y representa las cotas del terreno en la isla en un conjunto de 8000 filas y 6600 columnas (en total 52,800,000 celdas).

Las características del terreno en cuanto a infiltración se representan a través del conocido número de curva del Soil Conservation Service. Para generar la cobertura de número de curva se dispone de una colección de coberturas sectoriales temáticas entre las cuales destacan las siguientes:

- Mapa de cultivos
- Mapa de especies forestales
- Plan general de ordenación urbana
- Mapa geológico
- Mapa edafológico

Además, para la simulación es necesario contar con coberturas de las precipitaciones máximas. Estas coberturas se obtienen partiendo de los resultados obtenidos en las isohietas para periodos de retorno: 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 y 5000 años obtenidas en el estudio pluviométrico.

Finalmente, es necesario contar con las intensidades de lluvia en cada celda. Para desarrollar este punto se cuenta con las curvas intensidad duración frecuencia adimensionales desarrolladas para los observatorios de Los Rodeos y Santa Cruz.

A continuación se describe el proceso que ha permitido preparar las coberturas necesarias para la simulación. Para alcanzar los objetivos que plantea el apartado anterior es necesario dividir el trabajo en las fases siguientes:

- Preparación del Modelo Digital del Terreno (MDT)  
Consiste en el tratamiento del MDT original para representar en él la red oficial de cauces y eliminar errores e incongruencias entre ambos.
- Generación de mallas de cálculo  
Trata de la preparación de coberturas superponibles al MDT conteniendo direcciones del flujo en cada celda y otras características necesarias para el cálculo topográfico
- Detección automática de subcuencas  
Trata de la generación automática de parámetros de subcuencas a partir del MDT, vectores de flujo y cobertura de la red de cauces oficiales

#### **Parámetros de infiltración**

- Preparación de la malla de números de curva

Se elabora a partir de las coberturas temáticas vectoriales

### II.2.1. Geometría y parámetros físicos de las cuencas

La preparación del Modelo Digital del Terreno (MDT) es sin duda uno de los aspectos fundamentales relacionados con el éxito de la simulación y por lo tanto de la Guía. El MDT permitirá delimitar subcuencas conocer las longitudes de los cauces principales, sus pendientes, y determinar las celdas que componen cada subcuenca, facilitando así la consulta a otras coberturas superponibles con ella.

En la fase de preparación se busca corregir las posibles incongruencias que contiene el modelo en relación con los cauces oficiales para que la identificación de subcuencas se pueda realizar sin dificultades y con precisión.

Las incongruencias hay que buscarlas por una parte en la cobertura vectorial de la red de cauces oficiales de la isla y por otra en el propio modelo digital. Si se parte del supuesto de que el MDT es correcto, las diferencias que se aprecian no son errores sino modificaciones que es necesario realizar para permitir la simulación de determinadas circunstancias que se dan en las redes hidrográficas reales, por ejemplo los trasvases o las cuencas endorreicas.

El MDT disponible en la isla de Tenerife que se utiliza para la Guía es muy detallado, y contiene las cotas medias del terreno en celdas de paso de malla 5 metros.

Como es lógico, la red oficial de cauces contiene imprecisiones cuyo origen se puede atribuir a diferentes causas. Por una parte, la red fue obtenida digitalizando planos existentes. La escala de los planos y la precisión del operador de la tableta digitalizadora generan algunas discrepancias con la realidad. Por otra, la elaboración de la cobertura vectorial ha creado algunos cauces de pequeña longitud que se pueden anular al no tener la entidad suficiente para considerarlos cursos de agua.

Finalmente, a pesar de la precisión, la coincidencia entre el modelo digital y la cobertura vectorial de cauces no es perfecta, y en las desembocaduras de los cauces principales se encuentran pequeños tramos de cauce que se adentran en el mar o que no llegan a la costa. En estos casos es necesario poner de acuerdo ambas informaciones.

A continuación es necesario incorporar los trasvases de agua entre subcuencas. Debido a que los trasvases son modificaciones artificiales de los cauces naturales, resulta imposible que por un simple juego de pendientes topográficas, el agua pueda seguir el camino de los trasvases directamente, siendo necesario intervenir. Las modificaciones que se han realizado cambian las direcciones de flujo topográficas para indicar al modelo digital la dirección que debe seguir el agua en cada punto.

En la fase final, la preparación del modelo digital del terreno continúa integrando la red oficial de cauces, para lograr una correspondencia unívoca entre la información del MDT y la de la cobertura vectorial de los cauces.

A pesar de la extrema precisión del modelo digital del terreno, el paso de malla de 5 metros no es suficiente para representar exactamente el recorrido de los cauces. Por ello, los puntos de mínima cota del modelo digital no coinciden necesariamente con las trayectorias de los cauces vectoriales.

Para lograr la coincidencia se comienza convirtiendo mediante programación, la capa vectorial de cauces en una cobertura raster. El resultado de esta operación es una cobertura que contiene información exclusivamente en las celdas superpuestas a los cauces de la cobertura vectorial como muestra la figura

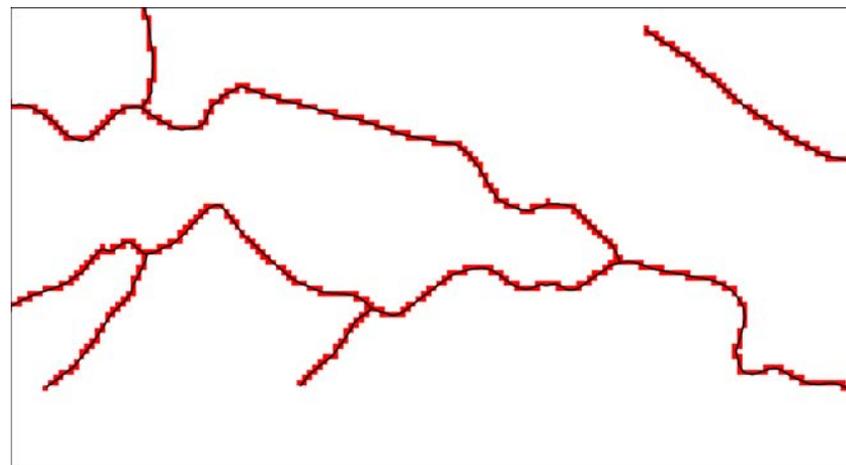


Figura 10 Cauces vectoriales en formato raster de 5x5 metros

Una vez realizada la corrección del modelo digital del terreno se obtiene como resultado una nueva cobertura cuyas cotas coinciden con las del modelo original con la excepción de las celdas que representan las trayectorias de los cauces oficiales, a las cuales se asigna una cota muy inferior a la del modelo digital por ejemplo 100 metros menos.

De esta forma se logra que el modelo digital del terreno identifique perfectamente las líneas definidas en la cobertura vectorial y se obliga al agua a seguir los cauces de la red oficial durante la simulación. Sin embargo esto no supone ningún error, ya que, a la hora de leer cotas para calcular los parámetros físicos de simulación, la lectura se realiza en la cobertura original del modelo digital del terreno. A la operación se ha denominado “quemado” del modelo digital. La figura adjunta muestra un ejemplo de resultado.

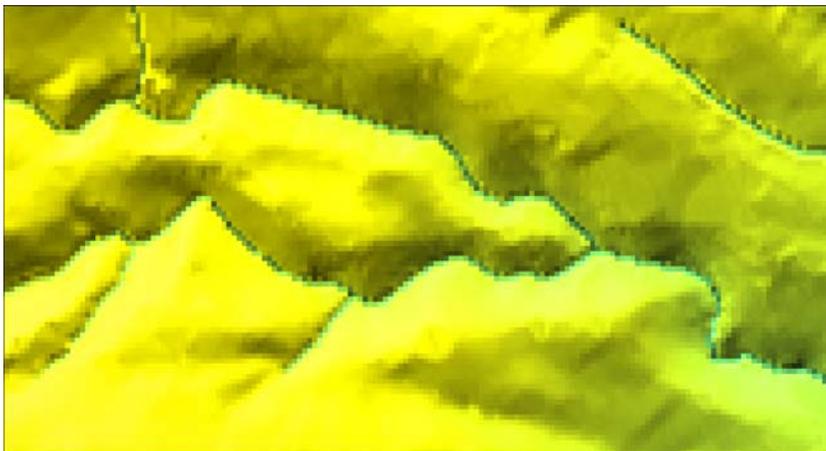


Figura 11 Modelo de terreno quemado

Una vez realizado el quemado del terreno y mediante el programa TOPAZ (*U.S. Department of Agriculture*) se han generado, entre otros resultados, las coberturas raster auxiliando direcciones de flujo (fichero FLOVEC) y áreas vertientes a cada celda (fichero UPAREA) ficheros necesarios para la definición interactiva de las cuenca vertientes. Dado el tamaño del MDT (15.861x12.969 celdas), ha sido necesario partir el modelo en tres partes para pasar el programa y una vez ejecutado se han unido los ficheros resultantes otra vez en un único fichero con las mismas dimensiones que el original, un ejemplo del cual se muestra en la figura adjunta.

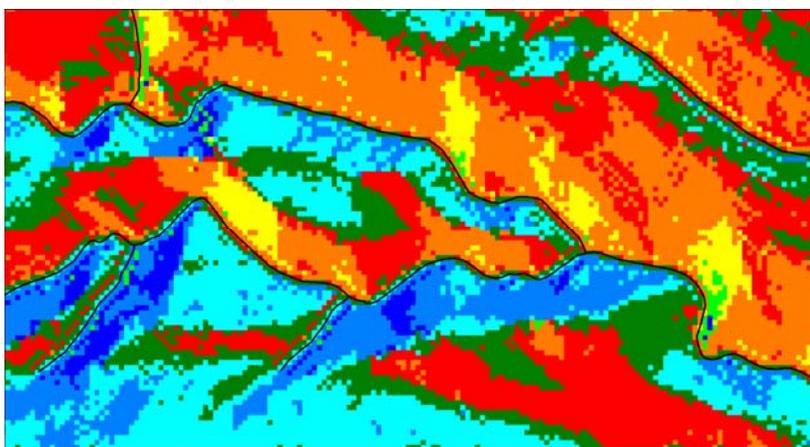


Figura 12 Fichero FLOVEC. El color indica la dirección de flujo

Una vez realizados estos trabajos, y para generar las cuencas de los cauces en su desembocadura<sup>5</sup>, se han determinado las coordenadas de dichos puntos. Estas coordenadas se han obtenido de forma automática, a través de programación, por una parte para facilitar ésta tediosa tarea y por otra para tener la garantía de que los puntos obtenidos pertenecen a la red fluvial oficial y representan las ubicaciones deseadas.

Primero se obtuvieron las coordenadas de los puntos que representan las confluencias de la red fluvial comenzando por el nudo de costa de los cauces principales y avanzando hacia aguas arriba. En el proceso, al localizar puntos de confluencia se almacenaban en memoria las celdas que representan el arranque de cada uno de los dos cauces que confluyen.

Esta labor es muy compleja, en parte porque en tramos muy cortos el nudo de arranque de los cauces que confluyen coincide en la misma celda, y además porque se dan muchas situaciones especiales en las cuales, debido a la proximidad del curso de los cauces que confluyen en las inmediaciones del arranque, el procedimiento automático solaparía subcuencas o bien dejaría pequeñas superficies sin asignar a ninguno de los dos cauces confluyentes cometiendo por lo tanto un error en la superficie de cálculo.

Para supervisar este tipo de errores, fue necesario realizar un análisis manual en el cual se comparan las superficies de las cuencas vertientes al mar con la suma de las superficies parciales de las subcuencas componentes. Este análisis, que evidentemente tiene que ser apoyado mediante aplicaciones informáticas es el más lento y engorroso pero a la vez el que ofrece garantías de resultados correctos al menos en lo que a evaluación de las cuencas vertientes a un punto se refiere.

Al concluir el análisis se dispone de una colección de coordenadas en 5.482 puntos, de los cuales 487 corresponden a subcuencas de cauces que desembocan en el mar y el resto a afluentes de estos.

También se dispone de un procedimiento capaz de detectar las celdas que vierten a un punto dado, resultando posible el cálculo completo de caudales y parámetros en cualquier punto de la isla de Tenerife

Finalmente, como muestra la figura a continuación, cada punto de cálculo ha sido asociado a una zona, lo que facilitará la adopción de hipótesis diferentes en función de la situación geográfica.

<sup>5</sup> Las capas con estas cuencas vertientes se acompañan como capas auxiliares en la aplicación informática.

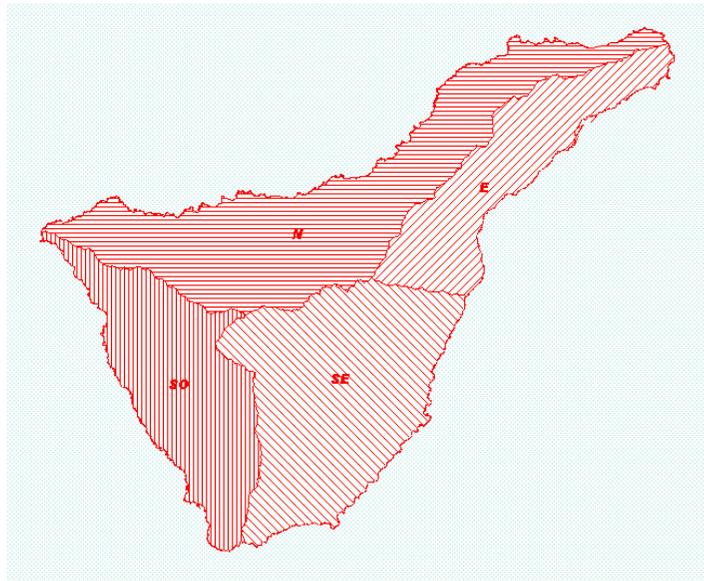


Figura 13 Zonificación de la isla a efectos de hipótesis de estado de humedad antecedente

### Generación de mallas de cálculo

Los ficheros de simulación que alimentan el modelo HEC-1 resumen los parámetros físicos que permitirán describir matemáticamente el funcionamiento hidrológico extremo de las cuencas.

Los parámetros puramente físicos que necesita el modelo en cada simulación son la superficie de la subcuenca, el tiempo de concentración, y el tiempo de retardo. A ellos hay que añadir la función de pérdidas, que se representa a través del conocido método del número de curva índice del Soil Conservation Service.

Algunos de los parámetros físicos se pueden extraer directamente de la información cartográfica mientras que otros se derivan de los anteriores y representan estimaciones.

Los parámetros físicos que se pueden medir directamente se resumen en

- superficie de la subcuencas
- longitud del cauce más largo

- cotas extremas del cauce más largo

Todos ellos se pueden obtener directamente a través del análisis del modelo digital del terreno como se analizará más adelante.

### Detección automática de subcuencas

El modelo digital del terreno es suficiente para determinar la cuenca hidrográfica en cada punto de la isla, es decir, la superficie que vierte su agua a dicho punto.

Para ello, se comienza analizando las cotas de los ocho puntos que rodean al punto de partida, cuatro en los ejes horizontal y vertical y cuatro en diagonal. Al calcular las pendientes entre cada uno de dichos puntos y el punto de partida se deduce cuales de dichos puntos vierten sus recursos al mismo (este proceso es el que realiza el programa TOPAZ al calcular las direcciones de flujo).

Una vez anotados en una lista los puntos encontrados-que por definición pertenecen a la cuenca que se busca-, se procede a buscar por el mismo procedimiento los puntos que vierten sus aguas a cada uno de ellos, y así sucesivamente hasta alcanzar las divisorias, que serían aquellos puntos que no reciben agua de ninguno situado aguas arriba concluyendo el proceso.

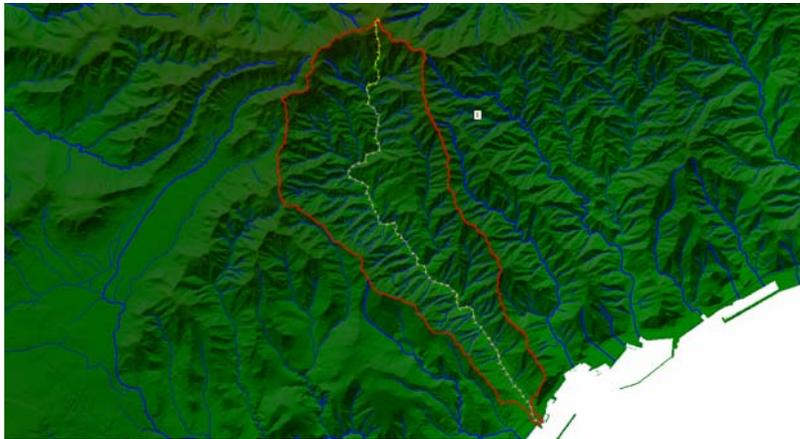
Como cada punto o celdas en el modelo digital tiene tamaño conocido igual a 25 metros cuadrados, la superficie de la cuenca vertiente a un punto se obtiene directamente sumando las superficies de todos los puntos que la integran.

Los restantes parámetros puramente físicos de las cuencas, es decir longitud y cotas extremas del cauce más largo, se calculan en un proceso posterior a la búsqueda de subcuencas también mediante el modelo digital.

Para calcular las cotas máxima y mínima de la cuenca así como la longitud del cauce más largo es necesario realizar un cálculo adicional. La cota mínima de la cuenca es por definición la del punto de partida.

Para encontrar el cauce más largo se recorren una a una las celdas que definen la divisoria, -anotadas en la lista con un código específico-, buscando cada uno de los caminos del flujo hasta el punto de partida. La longitud que debe recorrer el agua en cada uno de dichos cálculos es sencillamente la suma de las longitudes de las celdas a recorrer, teniendo en cuenta el recorrido puede ser horizontal / vertical o en diagonal.

Una vez obtenidos todos los posibles caminos del flujo desde la divisoria, el camino más largo encontrado definirá la máxima longitud que puede recorrer el agua en la cuenca. La cota del punto que sirve de origen a dicha línea de flujo es por definición la cota máxima de la cuenca a efectos de cálculo. La figura adjunta muestra un ejemplo de detección.



*Figura 14 Resultado de la detección automática de subcuencas*

Los parámetros anteriores, puramente físicos sirven para derivar en la simulación otros parámetros de significado hidrológico como el tiempo de concentración, que es el tiempo que el agua tarda en recorrer el camino más largo o el tiempo de retardo, quien mide el tiempo que el centro de masa de la precipitación tarda en convertirse en el centro de masa del hidrograma resultante.

## II.2.2. Parámetros de infiltración

Cuando se utiliza el método del hidrograma unitario, los hidrogramas de avenida se calculan en la hipótesis de que el suelo se comporta como un material impermeable una vez descontadas las pérdidas que se producen por infiltración, evaporación, o almacenamiento en depresiones y que parcialmente alcanzarán los cauces al concluir el hidrograma para deducirlas de la lluvia.

El cálculo de las pérdidas se realiza a través de formulaciones de cálculo de la infiltración ya que supone la componente más importante de las mismas. En este trabajo se utiliza la metodología más frecuente en hidrología: la del número de curva del SCS.

Este método no es precisamente el más perfeccionado de los que existen pero sí el más pragmático, ya que es el único que permite calcular los parámetros a partir de información fácilmente disponible y por ello es el método que se emplea habitualmente en hidrología.

Para conocer las características de infiltración de una cuenca con el número de curva del SCS es necesario ponderar las propiedades de cada fracción homogénea suelo-vegetación-uso del suelo en la cuenca. Teniendo en cuenta que en la Guía se trabaja con coberturas *raster*, que dividen la isla en celdas, lo más razonable consiste en definir el número de curva para cada celda.

Una vez obtenida la malla de números de curva también resulta muy sencillo operar con ella y calcular el número de curva promedio bajo el cual funciona la cuenca de forma agregada.

La generación de la malla de números de curva es un proceso muy complejo, no tanto por la forma de abordarlo sino más bien por el inmenso volumen de información que hay que manejar y la dificultad de asociar los tipos de suelo y vegetación de la isla con los estándares del método del número de curva.

Al concluir el proceso se obtiene una malla superponible al modelo digital del terreno cuyas celdas contienen valores del número de curva, comprendido entre 0 y 100, y que permitirán definir tanto las características de infiltración necesarias para estimar las pérdidas de la lluvia como el estado inicial en que se encuentra el terreno cuando comienza la tormenta de proyecto.

Para calcular la malla de número de curva se parte de la siguiente información:

**Tabla 6 Información disponible para la elaboración del número de curva**

Cobertura	Contenido	Tipo	Origen
Cultivos	Cultivos agrícolas	vectorial	Cabildo de Tenerife y Gob. de Canarias
Forestal	Especies forestales	vectorial	Universidad de La Laguna
Ocupación suelo	Uso del suelo	vectorial	GRAFCAN
Territorial	Células Territoriales	vectorial	PHT
Carreteras	Viales importantes	vectorial	Cabildo de Tenerife
Espacios abiertos	Esp abiertos en Planes generales	vectorial	PIOT
MDT	Cotas del terreno	raster	GRAFCAN
Suelos	Suelos	vectorial	Universidad de La Laguna

## Metodología

El procedimiento de elaboración de la cobertura *raster* de número de curva consiste en:

- crear una cobertura raster vacía en la misma posición geográfica y con la misma resolución que el MDT que sirve de motor a los cálculos hidrológicos
- rellenar los valores de la cobertura celda a celda con el valor que resulta de consultar la tabla de números de curva del SCS entrando con las características de:
  - suelo
  - vegetación
  - uso del suelo
  - condición hidrológica

Para poder consultar la tabla, es necesario comenzar interpretando las coberturas temáticas de la isla para definir las equivalencias entre los elementos que las componen y las categorías que utiliza el método original del SCS. El proceso exige integrar las diferentes categorías presentes en el conjunto de coberturas en unas pocas agrupaciones que comparten el comportamiento hidrológico.

La figura adjunta resume el proceso seguido para realizar las agrupaciones en cada cobertura.

FUENTE DE INFORMACIÓN	CAPA TEMÁTICA	Códigos				AGRUPACIÓN		
		General	Capa1	Capa2	Grupo			
Botanica (2006) Universidad La Laguna	VEGETACION	1	1		1	Matorral		
		2	1		2	Desiertos y malpaisés		
		3	1		3	Vegetación rupícola		
		4	1		4	Herbazal		
		5	1		5	Pinar		
		6	1		6	Fayal-brezal		
		7	1		7	Monteverde		
		8	1		8	Bosques o arbusteadas		
		9	1		9	Cultivos permanentes: viñas o frutales		
		10	1		10	Espacios abiertos		
		11	1		11	Áreas de urbanización dispersa		
Mapa de Cultivos (2004) Cabildo de Tenerife y Consejería de Agitcultura del Gobierno de Canarias.	CULTIVOS	12	2		1	Cultivos anuales: ornamentales o herbáceos intensivos de exportación		
		13	2		2	Cultivos anuales: hortalizas de autoconsumo		
		9	2		3	Cultivos permanentes: viñas o frutales		
		14	2		4	Asociación de cultivos: leñosos y hortalizas u ornamentales		
		15	2		5	Cereales, Leguminosas o Pastizales		
		16	2		6	Erial		
		17	2		7	Urbano o Viales		
		18	2		8	Montes		
PHT Celulas territoriales Ocupación de usos del suelo Grafcan PIOT	PLANES GENERALES DE ORDENACIÓN URBANÍSTICA actualizados (con adaptaciones a la Ley de 9/1999 de O. del T. - Celulas Territoriales-)	Urbanizable		19	3		1	Áreas urbanizables
		Urbano		20	3		2	Áreas urbanas
		USOS DEL SUELO (Uso suelo)		21	3	4	1	Áreas de urbanización densa
				22	3	4	2	Áreas de urbanización a lo largo de viales
				11	3	4	3	Áreas de urbanización dispersa
				23	3	4	4	Espacios abiertos en zonas urbanas
				24	3	4	5	Áreas comerciales
				25	3	4	6	Áreas industriales
				26	3	4	7	Infraestructura aeroportuaria
				27	3	4	8	Infraestructura portuaria
		28	3	4	9	Áreas de extracción de materiales		
		29	3	4	10	Vertederos y escombreras		
PLANES GENERALES vigentes en 2000 (Planes Generales)		10	3	5	1	Espacios abiertos		
Carreteras del Cabildo	CARRETERAS (Carreteras)	30	6		1	Infraestructura viaria		

Figura 15 Datos básicos para cálculo del número de curva y agrupaciones

### Mapa de vegetación

La cobertura de vegetación, realizada en 2006 por el Departamento de Botánica de la Universidad de La Laguna, detalla las especies forestales y señala aquellos donde se desarrollan actividades agrícolas o urbanas. La cobertura detalla el tipo de vegetación dominante y secundaria en cada recinto así como el porcentaje de la superficie que contiene vegetación, datos que se utilizan en la elaboración.

La figura 14 adjunta muestra la agrupación de las especies forestales dominantes en la isla

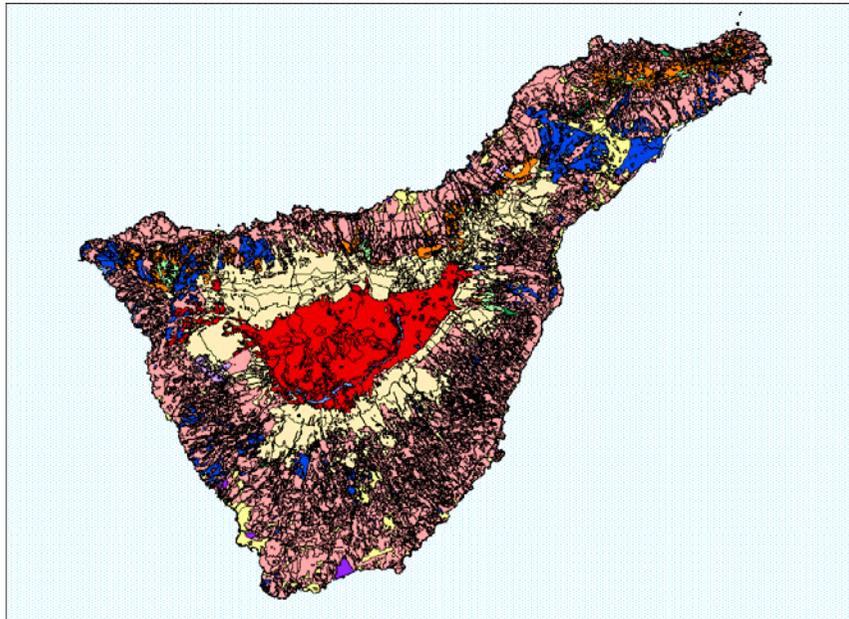


Figura 16 Mapa de vegetación (agrupaciones)

### Mapa de cultivos

Para caracterizar la cubierta vegetal en las zonas de cultivo se dispone de la cobertura a escala 1:25,000 elaborada por el Cabildo de Tenerife y la Consejería de Agricultura, Ganadería Pesca y Alimentación del Gobierno de Canarias en 2004. Incluye el tipo de cultivo, así como detalles sobre cultivos en invernadero o jable.

El mapa de cultivos detalla minuciosamente el tipo de especie que se cultiva pero no entra en detalles en zonas cubiertas de matorral, bosque, viales o zonas urbanas, en las cuales es necesario consultar informaciones específicas. La figura adjunta muestra el mapa de agrupaciones de cultivos por vegetación dominante.

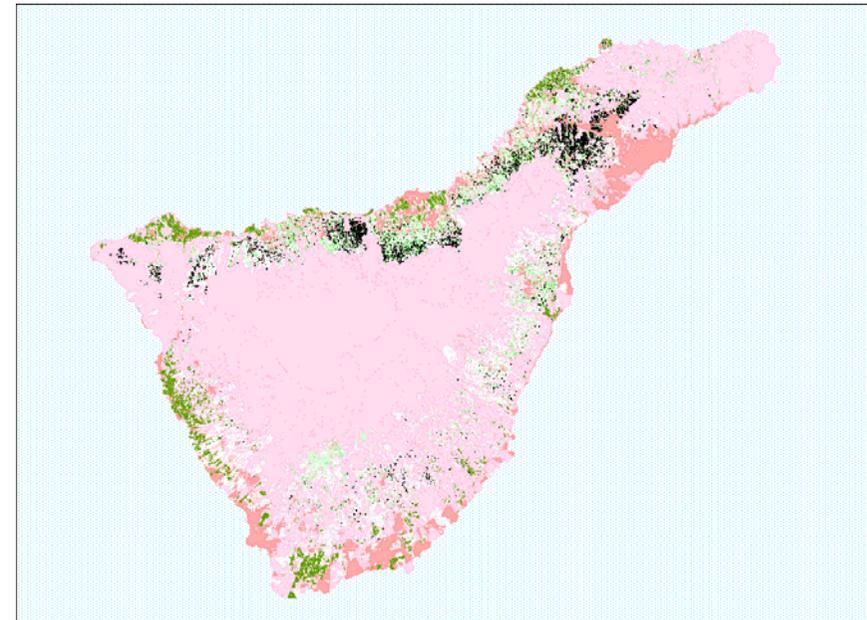


Figura 17 Mapa de cultivos (vegetación dominante)

### **Mapa edafológico**

La información edafológica es una componente esencial en los estudios hidrológicos. Para la Guía, se utiliza una cobertura vectorial desarrollada en 2008 por el Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna.

La cobertura identifica los tipos de suelos y los agrupa por características de permeabilidad en cuatro categorías de acuerdo a la clasificación del USDA (*U.S. Department of Agriculture*).

La figura adjunta muestra la interpretación del mapa edafológico en permeabilidades

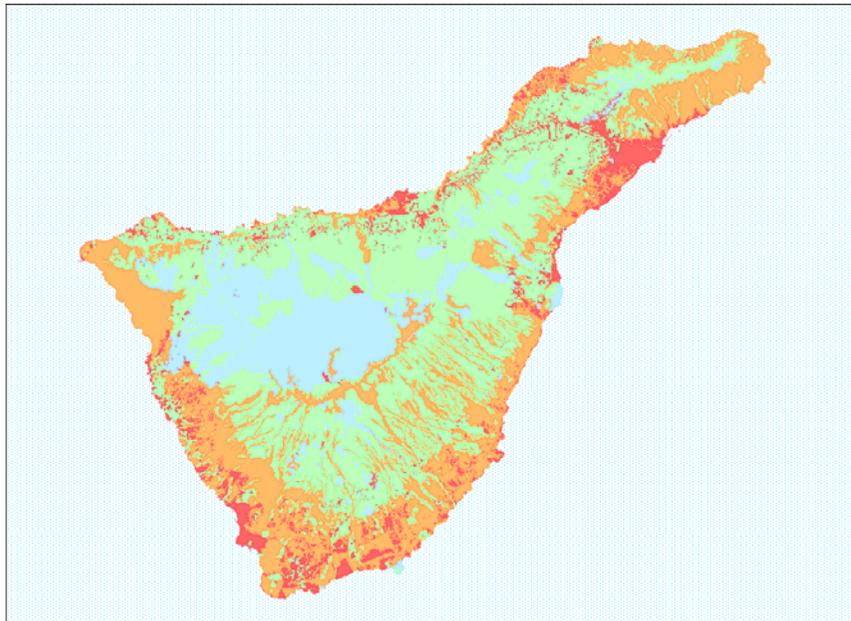


Figura 18 Mapa edafológico (clases SCS)

**Mapas de planeamiento urbanístico**

Para caracterizar las celdas en zonas urbanas o urbanizables se utilizan las siguientes coberturas:

*Células Territoriales*

Señala los recintos donde existe suelo urbano o urbanizable. El resto de la isla donde aparece en blanco

*Usos del suelo (ocupación)*

Desarrollada por GrafCan para detallar las características de las zonas urbanas. Comparte con la cobertura de vegetación un código para señalar las áreas de urbanización dispersa.

*Planes generales vigentes en 2000 (espacios abiertos)*

Los datos proceden de los Planes Generales de Ordenación Urbana de los municipios. Incluye únicamente los espacios abiertos en zonas urbanas. Comparte código con los espacios abiertos naturales de la cobertura de vegetación.

*Carreteras (viales)*

La última cobertura de usos urbanos incluye exclusivamente los recintos que forman las carreteras más importantes de la isla.

Las coberturas con información urbanística se refundieron en una sola en el orden que se cita para obtener la que combina todos los usos urbanísticos del suelo con el proceso y códigos que muestra el esquema adjunto. La figura adjunta muestra el resultado de la combinación.

**Tratamiento específico de la información urbanística**

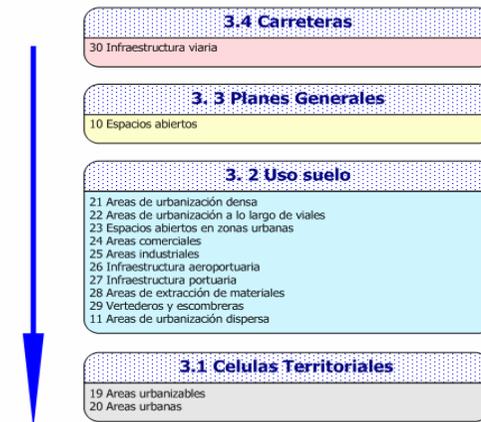


Figura 19 Preparación de la cobertura de información urbanística

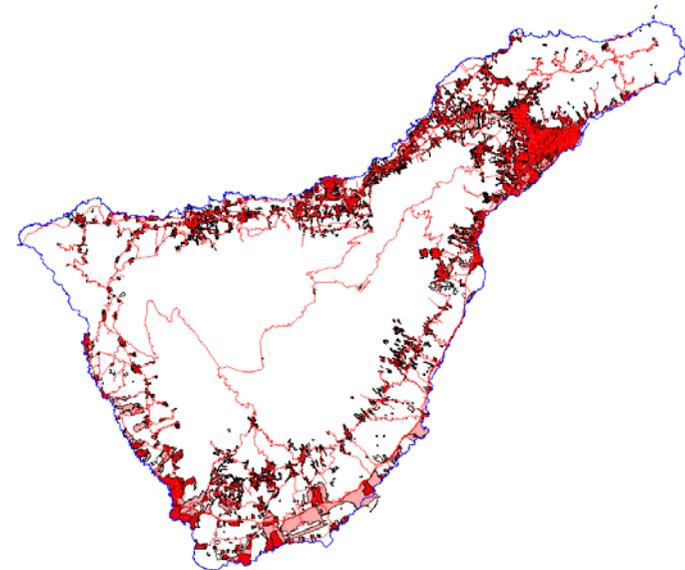


Figura 20 Mapa de información urbanística

### Mapa de pendientes

El mapa de pendientes se consulta durante la generación del número de curva para determinar la facilidad con que una cuenca puede producir escorrentía. Las cuencas de pendiente escasa, menor del 3% favorecen la infiltración mientras que las restantes favorecen la escorrentía.

El mapa de pendientes se obtiene directamente del MDT. Por lo tanto, se trata de un mapa *raster* definido en celdas de 5 m de lado superponibles con el MDT.

### Elaboración de la malla de número de curva

Una vez descrita la información que sirve de base al cálculo del número de curva, se pasó a elaborar una nueva cobertura con el número de curva.

La elaboración se realiza celda a celda consultando el contenido de cada una de las coberturas citadas y consultando la tabla del SCS para obtener el número de curva en condiciones AMC-II que corresponde a los parámetros de la celda.

Este proceso se ha automatizado para realizar el cálculo informático directo a partir o de las coberturas base y de las hipótesis de asignación. Para ello, siempre se utiliza el suelo y la pendiente, dando prioridad a las restantes coberturas en el siguiente orden:

- 1.- Urbanismo. Si la celda contiene un código urbanístico, se utiliza este directamente, en caso contrario se comprueba la siguiente cobertura:
- 2.- Cultivos. Si la celda contiene cultivos, se obtiene el número de curva directamente utilizando el código del suelo, de la vegetación y la pendiente. En caso contrario, se comprueba el valor de la última cobertura, completa en toda la isla:
- 3.- Vegetación. Se leen los valores de los códigos y densidades de la vegetación dominante y secundaria así como la ocupación de vegetación en la celda. Con ellos y la pendiente se calculan los números de curva para la vegetación dominante y secundaria y se prorratean empleando las densidades de vegetación para obtener el resultado

La figura adjunta muestra el proceso de tratamiento y los códigos agrupados que se emplearon

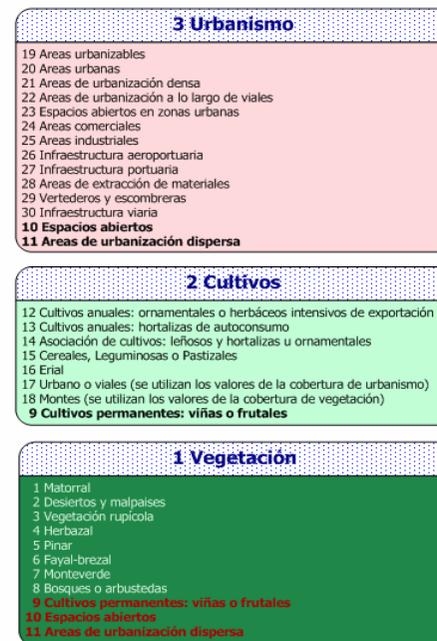


Figura 21 Esquema del tratamiento de coberturas para número de curva

La tabla de asignaciones a los números de curva del SCS a través del código general es la siguiente:

Tabla 7. Asignación de números de curva a partir de los códigos y agrupaciones realizados

Nº	USO DEL SUELO	PRÁCT. CULTIVO	Cond. hidrol	A	B	C	D	Codigo General y Agrupación
1	Barbecho	Con suelo desnudo		77	86	91	94	
2		Cubierto con residuos de cultivos	Pobre	76	85	90	93	16 Erial
3			Buena	74	83	88	90	
4	Cultivos en hilera	Máxima pendiente	Pobre	72	81	88	91	
5			Buena	67	78	85	89	
6		Máxima pendiente+ cubierto con residuos de cultivos	Pobre	71	80	87	90	
7			Buena	64	75	82	85	
8		Curvas de nivel	Pobre	70	79	84	88	
9			Buena	65	75	82	86	
10		Curva nivel + cubierto con residuos de cultivos	Pobre	69	78	83	87	
11			Buena	64	74	81	85	
12		Curva nivel y aterrazado	Pobre	66	74	80	82	
13			Buena	62	71	78	81	
14	Curva nivel y aterrazado + cubierto con residuos de cultivos	Pobre	65	73	79	81	9 Cultivos permanentes: viñas o frutales	
15		Buena	61	70	77	80		
16	Grano pequeño o cereales de invierno	Máxima pendiente	Pobre	65	76	84	88	
17			Buena	63	75	83	86	
18		Máxima pendiente+ cubierto con residuos de cultivos	Pobre	64	75	83	86	
19			Buena	60	72	80	84	
20		Curvas de nivel	Pobre	63	74	82	85	15 Cereales, Leguminosas o Pastizales
21			Buena	61	73	81	84	
22		Curva nivel + cubierto con residuos de cultivos	Pobre	62	73	81	84	
23			Buena	60	72	80	83	
24		Curva nivel y aterrazado	Pobre	61	72	79	82	
25			Buena	59	70	78	81	
26	Curva nivel y aterrazado + cubierto con residuos de cultivos	Pobre	60	71	78	81		
27		Buena	58	69	77	80		
28	Cultivos de siembra muy próxima siguiendo la máxima pendiente o cultivos de siembra dispersa		Pobre	66	77	85	89	13 Cultivos anuales: hortalizas de autoconsumo
29			Buena	58	72	81	85	
30	Legumbres o rotación de cultivos siguiendo la curva de nivel		Pobre	64	75	83	85	
31			Buena	55	69	78	83	
32	Pastos	Curva de nivel y aterrazado	Pobre	63	73	80	83	12 Cultivos anuales: ornamentales o herbáceos intensivos de exportación
33			Buena	51	67	76	80	
34			Pobre	68	79	86	89	
35		Pastos, prados y campos: forraje continuo para pasto	Media	49	69	79	84	
36		Buena	39	61	74	80		
37	Pastos o prados protegidos del ganado, generalmente segados para heno			30	58	71	78	
38	Zonas de matorral con algo de vegetación herbácea		Pobre	48	67	77	83	1 Matorral
39			Media	35	56	70	77	6 Fayal-breza
40			Buena	30	48	65	73	2 Desiertos y malpais
41	Combinación de árboles con vegetación herbácea (huerto o		Pobre	57	73	82	86	14 Asociación de cultivos: leñosos y hortalizas u ornamentales

Nº	USO DEL SUELO	PRÁCT. CULTIVO	Cond. hidrol	A	B	C	D	Codigo General y Agrupación
42	granjas de árboles)		Media	43	65	76	82	
43			Buena	32	58	72	79	
44			Pobre	45	66	77	83	5 Pinar
45	Bosques		Media	36	60	73	79	6 Fayal-breza
46			Buena	30	55	70	77	7 Monteverde
47			Pobre	59	74	82	86	8 Bosques o arbustadas
48	Áreas edificadas en las granjas y sus alrededores			59	74	82	86	23 Espacios abiertos en zonas urbanas
49	Áreas con cobertura herbácea < 50%			68	79	86	89	10 Espacios abiertos
50	Áreas con cobertura herbácea entre el 50 - 75%			49	69	79	84	4 Herbazal
51	Áreas con cobertura herbácea > 75 %			39	61	74	80	
52	Áreas impermeables (parkings, tejados, aceras, ...)			98	98	98	98	20,21, 26,27 Áreas urbanas, Áreas de urbanización densa, Infraestructuras portuarias, Infraestructuras aeroportuarias
53	Calles y carreteras pavimentadas; drenajes de evacuación de lluvia			98	98	98	98	17,30 Infraestructura viaria, urbano o viales
54	Áreas pavimentadas; acequias			83	89	92	93	22 Áreas de urbanización a lo largo de viales
55	Gravas			76	85	89	91	28 Áreas de extracción de materiales
56	Basuras			72	82	87	89	29 Vertederos y escombreras
57	Áreas urbanas desiertas; paisajes desiertos naturales (solamente en zonas permeables)			63	77	85	88	1 Matorral
58	Paisajes desiertos artificiales (barreras de malas hierbas permeables, desiertos de matorral con 2-5 cm de cobertura de arena o grava)	% de sup impermeable		96	96	96	96	
59	Zonas comerciales y de negocios		85	89	92	94	95	24, 25 Áreas industriales, Áreas comerciales
60	Zonas industriales		72	81	88	91	93	
61	Zonas residenciales con una edificación media de 5000 m2		65	77	85	90	92	11 Áreas de urbanización dispersa
62	Zonas residenciales con una edificación media de 10000 m2		38	61	75	83	87	11 Áreas de urbanización dispersa
63	Zonas residenciales con una edificación media de 15000 m2		30	57	72	81	86	
64	Zonas residenciales con una edificación media de 20000 m2		25	54	70	80	85	
65	Zonas residenciales con una edificación media de 40000 m2		20	51	68	79	84	
66	Zonas residenciales con una edificación media de 80000 m2		12	46	65	77	82	
67	Áreas urbanas nuevas (sólo zonas permeables, sin vegetación)			77	86	91	94	19 Áreas urbanizables
68	Mezcla de vegetación herbácea con algo de matorral bajo		Pobre	70	80	87	93	
69			Media	60	71	81	89	3 Vegetación rupícola
70		Buena	50	62	74	85		
71	Matorral de área montañosa mezclado con roble y álamo		Pobre	55	66	74	79	
72			Media	37	48	57	63	
73			Buena	25	30	41	48	2 Desiertos y malpais
74	Bosque de pináceas		Pobre	60	75	85	89	
75			Media	45	58	73	80	
76			Buena	25	41	61	71	
77			Pobre	55	67	80	85	
78	Artemisa con cobertura herbácea		Media	40	51	63	70	
79			Buena	25	35	47	55	
80	Áreas de desierto con mata y matorral: cactus, palo verde, matorral de áreas salinas		Pobre	63	77	85	88	3 Vegetación rupícola
81			Media	55	72	81	86	
82			Buena	49	68	79	84	

El número de curva obtenido en el proceso de cada celda se graba en la nueva cobertura y se pasa a calcular la siguiente celda. La figura adjunta muestra la cobertura de números de curva obtenida para las condiciones medias de humedad antecedente AMC-II.

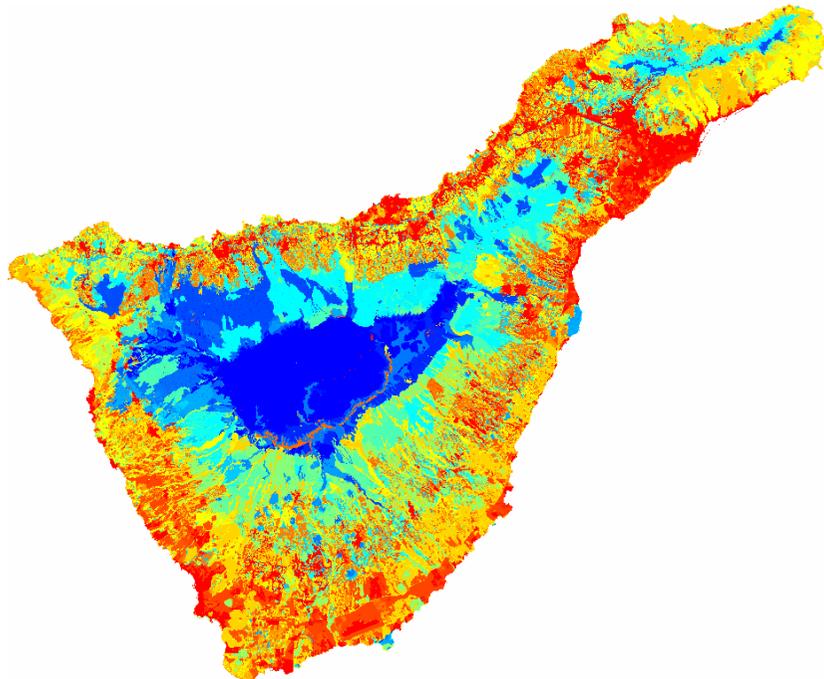


Figura 22 Mapa de números de curva calculados en la isla

A continuación, se ha construido una nueva cobertura de umbrales de escorrentía  $P_0$  partiendo de los números de curva, en la forma en que están definidos en la norma 5.2-IC de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Los valores de dicha capa se deducen de los números de curva mediante la relación  $(5000/NC)-50$ .

Los números de curva obtenidos corresponden a las condiciones medias de humedad antecedente del suelo, que en el método original se denominan AMC-II. Cuando es necesario pasar a las condiciones extremas de humedad antecedente (AMC-III) o a las condiciones de humedad mínima (AMC-I), basta con aplicar las relaciones

$$NC_I = NC_{II} / (2.3 - (0.013 * NC_{II}))$$

$$NC_{III} = NC_{II} / (0.427 + (0.00573 * NC_{II}))$$

### III. OBTENCIÓN DE LOS CAUDALES DE REFERENCIA

Todos los procedimientos indicados en los apartados anteriores se plasman en una herramienta informática que constituye la Guía propiamente dicha y que permite calcular los caudales de avenida en cualquier punto de la isla de Tenerife.

La aplicación informática utiliza los recursos de un GIS subyacente para seleccionar el emplazamiento donde el usuario desea calcular los caudales y obtener los parámetros que permitirán abordar el cálculo.

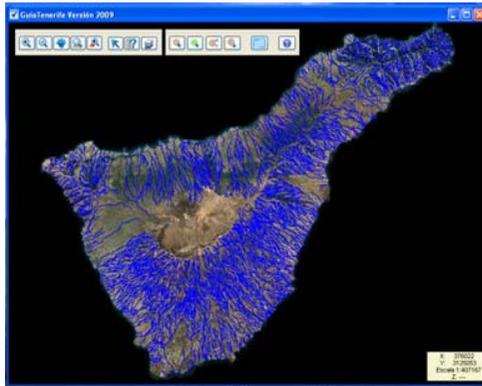


Figura 23 Pantalla inicial de la aplicación (Guía metodológica)

La selección del punto de cálculo se puede realizar tanto de forma visual -buscando en los mapas con el apoyo de una o varias de las coberturas GIS integradas- como por coordenadas o por proximidad a un cauce. Las coberturas integradas son las siguientes:

- Cauces de barrancos que desembocan en la costa
- Cauces de la red oficial
- MDT de 10m
- MDT de 5m
- Cartografía 1:5000
- Ortofoto de 50 cm.

Para facilitar la selección visual, la aplicación incluye herramientas que facilitan la navegación. Una vez seleccionado el punto, la aplicación calcula su cuenca vertiente utilizando el MDT de 5m.

Si la cuenca obtenida es la deseada, la opción Calcular permite estimar los parámetros físicos (área, tiempo de concentración, longitud del cauce más largo, etc..) e hidrológicos (precipitación, número de curva) para preparar las pasadas de simulación.

Si la cuenca es de superficie inferior a 1 km<sup>2</sup>, la aplicación prepara los cálculos con el método racional obteniendo el tiempo de concentración, el coeficiente de escorrentía partiendo del número de curva y la intensidad de lluvia. Si la cuenca supera 3 km<sup>2</sup>, se prepara el fichero de simulación de un modelo HEC-1 agregado que a continuación se ejecuta en la sombra y del cual se extraen los resultados que se presentan en el informe de la aplicación.

Para evitar discontinuidades, en las cuencas entre 1 y 3 km<sup>2</sup> se aplican ambos métodos y se prorratean para dar el resultado.

La figura adjunta muestra un ejemplo de resultados obtenidos con la aplicación.

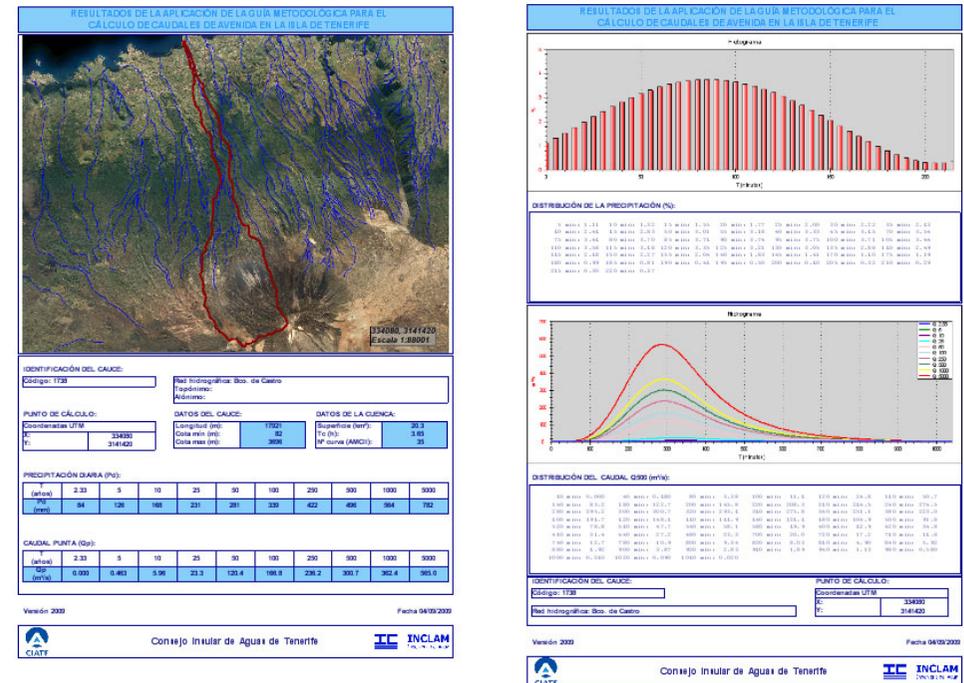


Figura 24 Ejemplo de resultados generados por la aplicación de la Guía