

LA CONSTATACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS MAPAS DE RIESGO DE AVENIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. PROPUESTA METODOLÓGICA Y APLICACIÓN A LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Tamara Horcajada Herrera, Moisés R. Simancas Cruz
y Pedro Dorta Antequera

Departamento de Geografía
Universidad de La Laguna

RESUMEN

Este trabajo pretende comprobar la validez y efectividad de los mapas de riesgos, mediante la comparación y constatación del modelo de predicción del riesgo potencial de avenida realizada para el Barranco de Aguajilva (La Gomera, Islas Canarias) con la evaluación de los efectos catastróficos derivados del episodio lluvioso extraordinario acaecido el día 6 de diciembre de 1999. Su interés radica en la propuesta metodológica, su posible aplicación en la ordenación territorial de pequeñas cuencas hidrográficas, y la modelación de los riesgos mediante Sistema de Información Geográfico.

Palabras claves: Amenaza, avenida, desastre natural, ordenación del territorio, precipitaciones de elevada intensidad horaria, riesgo, sistema de información geográfica, vulnerabilidad.

Fecha de recepción: marzo de 2001.
Fecha de admisión: junio de 2001.

ABSTRACT

The aim of this article is to prove the validity and effectiveness of the risk map, by means of comparison and verification the flood prediction territorial model for the Barranco de Aguajilva (La Gomera, Canary Island) with the evaluation of the catastrophic effects of a high rainfall on December 6 th of 1999. The interest of this paper is in the methodological proposal, the possible application to the land planning in small watersheds, and risk modelling based in the geographic information system.

Key words: Hazard, flood, natural disaster, land planning, risk, high rainfalls, geographic information system, vulnerability.

1. INTRODUCCIÓN

El impacto de los desastres naturales en las actividades humanas ha sido un tema tratado en los últimos años en un amplio número de publicaciones desarrolladas por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes y la metodología de valoración. En este sentido, la investigación sobre los riesgos es un componente muy activo de la relación naturaleza-sociedad, en la que la Geografía posee un peso específico como disciplina aplicada. La mayor parte de las primeras investigaciones giraban en torno al interés práctico de saber por qué la gente se asienta en zonas peligrosas, y en determinar en qué medida los resultados de las políticas disminuirían el impacto de tales decisiones de asentamiento, mientras que recientemente se ha enfatizado más el desarrollo de la teoría desde las siguientes perspectivas: los estudios de riesgos desde su identificación, conceptualización y evaluación (White, G., 1975; Calvo García-Tornel, F., 1989; Coburn, 1991; Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, 1991; Zagask, 1991; Mateu, A., 1992; Lavell, A. *et al.*, 1994; Cendrero, A., 1997; Maskrey, 1993; Saurí, D. y Ribas, A., 1994); el contexto de los riesgos (Palm, R.I. 1990; Mitchell, J.K. *et al.* 1989; Kirby, 1990; Aneas de Castro, S., 2000); las teorías sociales sobre riesgo (Krimsky, S. y Goldin, D. 1992; Jonson, B.B. y Covello, V.T., 1987); la amplificación social de los riesgos (Kasperson, E.E. *et al.*, 1988; Maskrey, A., 1989; Kasperson, R.E., 1992; Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., y Wisner, B., 1994; el concepto y estudio de las amenazas (Munich, 1988; UNEP, 1982; Paustenbach, 1989; Smith, 1992; McCall, Laming y Scott, 1992; Fournier, 1985) y la vulnerabilidad (UNDRO, 1979; O'Riordan, 1986, Liverman, D., 1990; Blaikie, P. *et al.*, 1994); los estudios aplicados de los riesgos y la manera de prevenirlos y mitigarlos (Abad, J. *et al.*, 1983; Romero y Maskrey, 1983; La Red, 1993; Seaman, Leivesley y Hogg, 1993). A pesar de estos intentos, aún existe cierta frustración por la falta de un desarrollo teórico y metodológico para determinar los factores que agudizan la vulnerabilidad de los elementos y sistemas territoriales frente a los riesgos.

En este contexto, la modelación y simulación de los riesgos de avenidas implica la realización de un estudio de prognosis en el que se presenta una imagen global de los posibles efectos, con el fin de reducir la incidencia de las catástrofes. Así, los mapas de riesgos están planteados a modo de hipótesis, aunque explícitamente no están formuladas como tales (Cen-

drero, A., 1997, 41); generalmente, las hipótesis subyacentes implican que el comportamiento de los procesos naturales en el futuro próximo tendrán una evolución similar a la proyectada en el presente, siendo posible determinar las áreas que pueden ser potencialmente afectadas y la frecuencia e intensidad de los mismos, constituyéndose, por tanto, en técnicas e instrumentos de planificación y gestión territorial que permiten definir limitaciones en ciertos usos del suelo y, en concreto, en la localización espacial de las actuaciones y actividades humanas. Sin embargo, la comprobación de las predicciones inherentes a este tipo de cartografía es bastante difícil, por lo que se hace compleja la verificación de la validez de la hipótesis que contiene.

Por otra parte, el uso de estos modelos de simulación implica la representación de la realidad de la forma más sencilla posible y generalista, intentado no recurrir a expresiones complejas que puedan disminuir su operatividad y funcionalidad, y que, a su vez, agilice, sin perder rigor científico, la producción cartográfica, el manejo e interpretación de la elevada cantidad de información a utilizar, la diversidad de métodos de análisis a realizar y la necesaria integración de los resultados parciales. Para ello, a los métodos y técnicas tradicionales, se han añadido nuevas herramientas y procedimientos de tratamiento informático de la información territorial, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Su importante capacidad para almacenar, manipular, analizar, integrar y presentar eficientemente todas las formas de información espacial, desplegándola en mapas, hace de éstos los instrumentos más adecuados para afrontar la modelación de eventos hidrológicos con el fin de evaluar situaciones de riesgos y desastres.

Este trabajo pretende cumplir dos objetivos fundamentales: por una parte, proponer una metodología para la constatación parcial de la validez y efectividad de las predicciones del modelo de riesgo de avenidas en pequeñas cuencas hidrográficas, a partir de la observación y explicación del proceso «a posteriori» y, por otra, una vez demostrada la utilidad del mismo como método de mitigación y prevención de riesgos, proponer su aplicación en el proceso de toma de decisiones y en la ordenación del territorio. Con el fin de ilustrar la cuestión se ha utilizado el ejemplo de los efectos de la avenida del Barranco de Aguajilva (La Gomera, Islas Canarias) acaecida el día 6 de diciembre de 1999, comparando el mapa de riesgos con la ocurrencia efectiva del evento de elevadas precipitaciones que provocó tal situación catastrófica. Para ello, en una primera parte se procedió a modelizar la situación de riesgo de avenida en dicha cuenca para, con posterioridad, proceder a su comparación con los daños causados mediante la aplicación del SIG (Arc View 3.2 con sus extensiones «Análisis 3D» y «Análisis espacial»).

2. PLANTEAMIENTO CONCEPTUAL

Un estudio de riesgo de avenidas tiene por objetivo la clasificación de las zonas inundables y la estimación de los daños que puedan producirse en función de la probabilidad o expectación de destrucción o deterioro de los elementos de un sistema territorial. Todo ello como consecuencia de episodios de elevada precipitación en un determinado ámbito territorial, que excede un valor específico (umbrales de tolerancia) y, por tanto, la capacidad de respuesta de los mismos. Así, el riesgo constituye la manifestación de la condición de debilidad de un componente o de la totalidad del sistema territorial ante dicho evento natural, por lo que

la condición de riesgo únicamente se adquirirá cuando su ocurrencia se dé en un área ocupada por actividades humanas que deben afrontar las consecuencias de dicho fenómeno. Desde esta perspectiva, el riesgo puede ser descompuesto en tres componentes claramente identificables a los fines analíticos pero estrechamente interrelacionados; nos referimos a las amenazas, la vulnerabilidad y la exposición.

La **amenaza** o peligro se refiere a la probabilidad de ocurrencia de las consecuencias de un fenómeno de origen natural, generalmente de carácter sorpresivo, de evolución rápida y de relativa severidad, que se concentra durante un determinado período de tiempo y en un lugar, afectando a un componente o a la totalidad del sistema territorial expuesto. Por tanto, las avenidas constituyen las amenazas, que resultan de la combinación de la tipología y características de los eventos lluviosos de gran intensidad con el conjunto de factores físicos del área afectada por el mismo; éstos constituyen la causa desencadenante de una situación de riesgo de avenida. Desde esta perspectiva, la diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo es que la primera se refiere a la probabilidad de que se manifieste un evento natural, mientras que el segundo está relacionado con la probabilidad de que se den ciertas consecuencias (Fournier, 1985).

La **vulnerabilidad** se define como la predisposición o susceptibilidad intrínseca de los componentes antrópicos del sistema territorial para ser dañados total (destrucción) o parcialmente (deterioro) debido al impacto de la amenaza. Representa la medida o magnitud de probabilidad de daño o pérdida de un componente o sistema territorial expuesto a la amenaza al exceder su nivel de tolerancia o respuesta; por tanto, constituye el factor interno del riesgo que se manifiesta por su fragilidad o debilidad frente al evento natural. Se vincula, generalmente, con la situación socioeconómica y con los niveles de ordenación e institucionalización del sistema territorial donde potencialmente pueden impactar adversamente las elevadas precipitaciones. Constituye un indicador del grado de ineficacia de un determinado grupo social para adecuar su organización frente a aquellos cambios en el medio (Calvo García-Tornel, F., 1997), que denota la incapacidad de las estrategias de ordenación territorial proyectadas e implementadas por la comunidad para «absorber» los efectos de dichos cambios y, por ende, su inflexibilidad para adaptarse o ajustarse a los mismos. Por consiguiente, la vulnerabilidad depende de dos condiciones: la ubicación del componente respecto a la zona de impacto de la amenaza (por ejemplo, zonas susceptibles de inundación frecuentes) y las características y el estado de conservación del mismo. Por tanto, la vulnerabilidad es esencialmente una condición humana, una característica de la estructura social y un producto de los procesos sociales e históricos (Lavell, A., 1994).

Por último, el concepto de «exposición» o «elementos en riesgos» se refiere a la distribución espacial de la población, actividades económicas, bienes materiales, obras de ingeniería civil, servicios públicos, etc., sobre las que puede impactar el fenómeno natural peligroso. Constituye la expresión espacial de la interrelación entre los eventos lluviosos extraordinarios y sus consecuencias (avenidas) y los elementos vulnerables del sistema territorial.

Aplicando este marco conceptual, se desprende que los riesgos de avenidas están íntimamente relacionado no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos, sino con la predisposición que tienen dichos elementos a ser afectados por tal evento físico (Cardona, O.D., 1996, 81); en este sentido, el riesgo de inundaciones y/o avenidas no es sinónimo de las amenazas naturales, pues no depende únicamente de la ocurrencia y magnitud de la misma,

sino de la vulnerabilidad de un componente o del sistema territorial expuesto a ella (White, G., 1974). Por otra parte, los episodios de lluvia que provocan situaciones de «desastre» y su equiparable de «catástrofe», se refieren a las consecuencias, y no a las causas, de la avenida.

En este contexto conceptual, un desastre natural o un suceso catastrófico constituye la ocurrencia efectiva y real del riesgo que, debido a la vulnerabilidad de los elementos expuestos, causa efectos adversos sobre los mismos. Su manifestación se produce cuando el impacto de las intensas precipitaciones que lo origina es superior al mecanismo adoptado por la sociedad para tolerarlo (capacidad de respuesta), derivando en consecuencias negativas de carácter económico, social, físico, etc., que, incluso, llegan a precisar especial atención de los organismos públicos.

En función de lo comentado hasta el momento, las lluvias, que potencialmente pueden calificarse como catastróficas, son resultado de la combinación de determinadas condiciones atmosféricas, factores geográficos locales y elementos antrópicos. Por consiguiente, no todos los episodios de elevada precipitación pueden ser considerados *per se* como amenazas, ya que su peligrosidad depende del grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos al riesgo. En otras palabras, un proceso de avenida es resultado de la correlación de dos factores concomitantes y mutuamente condicionantes: los fenómenos meteorológicos que los originan (amenaza) y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas propensas a sufrir un deterioro o destrucción por su impacto (vulnerabilidad). De esta manera, los desastres no son «naturales» (Maskrey, A., 1993), ya que si bien la ocurrencia de tal episodio atmosférico, con una intensidad y frecuencia concreta, puede poner en peligro a un sistema territorial, generando situaciones de emergencia o alerta, su transformación en desastre requiere inevitablemente que sus consecuencias (las avenidas) tengan un impacto en una estructura humana vulnerable. En otras palabras, los desastres revelan procesos sociales básicos y, a la vez, se explican a partir de los mismos (Kreps, G., 1984, 327), por lo que entender qué pasa en la intersección entre un fenómeno físico extremo y el sistema social requiere de un examen de las relaciones entre ambas variables.

3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO: LA MODELACIÓN DEL RIESGO DE AVENIDA EN EL BARRANCO DE AGUAJILVA

En este trabajo hemos considerado que el objetivo fundamental de los estudios de riesgos de avenidas es su modelación cartográfica. El mapa de riesgos constituye un modelo de simulación que permite la evaluación, predicción y pronóstico de las consecuencias de tal evento de precipitaciones extraordinarias, es decir, una representación integrada de datos almacenados y analizados que permite identificar, clasificar y valorar (cuantitativa y cualitativa) las áreas potencialmente inundables del territorio.

Teniendo en cuenta que cualquier modelo agregado de estudio del evento hidrológico considera que la lluvia es uniforme sobre la cuenca y que los parámetros del modelo son globales y constantes durante cada evento (Martínez, V., Dal-Ré, R., García, A. y Ayuga, F., 2000, 50), se ha considerado necesario incorporar al estudio de la avenida aquellos métodos que permitieran un análisis de la variabilidad espacial del proceso hidrológico. Desde esta perspectiva, la modelación del riesgo de avenida ha involucrado el conocimiento del fenómeno natural que puede originarla y su grado de afección sobre uno o varios componentes

estructurales del sistema territorial (vulnerabilidad). Asimismo, se ha considerado necesario la identificación, estimación e integración tanto de las magnitudes hidrológicas que definen el comportamiento de la avenida (el calado y velocidad de las aguas, el caudal de sólidos asociados, la duración de la inundación, etc.), como de las variables o factores físicos que pueden intervenir en su evolución superficial (la geología, los factores morfométricos y fisiográficos de la cuenca, la topografía, la vegetación, etc.); ambas pueden potenciar o minimizar la acción de la avenida. De su integración se ha obtenido el mapa de exposición, que combina la magnitud de la amenaza y su posible incidencia sobre los elementos antrópicos. Finalmente, la valoración del mapa anterior ha dado como resultado el mapa de riesgos, que ha permitido un entendimiento sistémico y valorado de la situación de riesgo.

El anterior planteamiento conceptual y metodológico ha determinado que el proceso de modelación cartográfica y evaluación del riesgo de avenidas en el Barranco de Aguajilva requiriese de una metodología lógica, secuencial y articulada; así, en primer lugar, se ha identificado, analizado y cartografiado por separado los dos elementos del riesgo (la existencia de la amenaza y la condición de debilidad del componente del sistema territorial) y, con posterioridad, se procedió a su combinación con el fin de obtener el mapa de riesgo, entendido como un producto final, integral y de síntesis en el que se clasificó el territorio en función del grado de riesgo.

3.1. Fase de inventario: el planteamiento de la hipótesis de trabajo

El Barranco de Aguajilva constituye una de las cuatro subcuencas que configuran el de La Villa (figura 1), que, ubicado en el sector Este de La Gomera y con una dirección NW-SE, supone una de las cuencas de máximo desarrollo longitudinal de la Isla (13 km. de longitud para el cauce principal) y la segunda en superficie (30,1 km²).

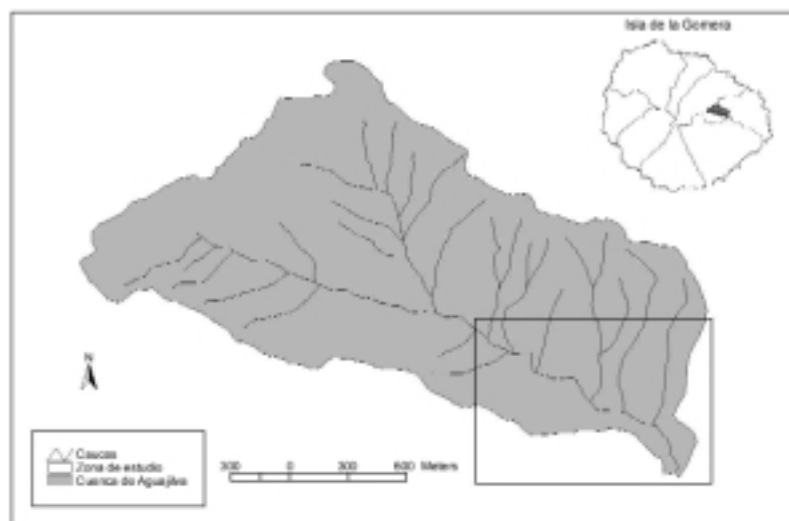


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca de Aguajilva.

3.1.1. La evaluación de la estructura territorial: la elaboración del mapa de usos del suelo

Atendiendo a la estructura y organización territorial, el sistema de ocupación del suelo de la cuenca de Aguajilva está conformado fundamentalmente por cultivos, poblamiento y estructuras viarias, quedando el resto de la superficie ocupada por monte bajo (figura 2).

En cuanto al poblamiento, la mayor parte de las edificaciones se concentran en un pequeño núcleo (Lomo Fragoso) situado sobre un interfluvio en el tramo final del cauce principal. Esta disposición responde a una lógica de organización territorial: conservar los terrenos más productivos para el cultivo y proteger la vivienda de las posibles crecidas del barranco. De cara a la valoración del riesgo, el problema fundamental lo plantean las nuevas edificaciones que no se ajustan al patrón tradicional. En los últimos años ha habido una revalorización de este espacio como zona residencial de calidad, por lo que han prosperado viviendas tipo «chalet», casas unifamiliares ajardinadas, algunas de las cuales se ubican muy cerca del cauce, totalmente desvinculadas de los núcleos consolidados.

Existen una serie de condiciones naturales que han permitido el desarrollo de una agricultura tradicional de regadío (un total de 64,3 has.). Los mejores suelos se localizan en el lecho mayor de inundación del barranco, por lo que no es de extrañar que buena parte del mismo haya sido ocupado por actividades del sector primario, asumiéndose el riesgo de que estas parcelas pudieran ser arrasadas si se produjese una crecida importante. Recientemente ha tenido lugar un abandono generalizado de estas actividades; la crisis ha afectado, si bien se han mantenido en explotación las parcelas más próximas a los núcleos de población y en suelos más ricos, aunque sean las más susceptibles de ser inundadas. También ha tenido lugar la modernización de algunas explotaciones, esto es, aumento de sus dimensiones, mejora de los

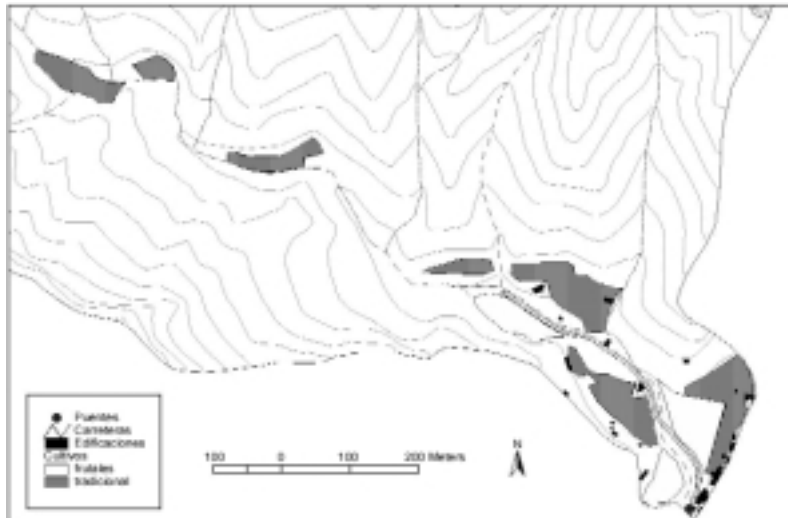


Figura 2. Mapa de usos del suelo.

bancales y de los sistemas de riego, implantación de cultivos de frutales tropicales, etc., lo que ha conducido a su revalorización.

En relación con las infraestructuras viarias, la carretera principal que comunica todos los caseríos de la cuenca del Barranco de La Villa con el casco urbano de San Sebastián no llega a penetrar en Aguajilva. El único eje viario que enlaza las viviendas con la carretera general es una pista de tierra, abierta directamente sobre el lecho del barranco, de manera que cuando se producen precipitaciones y las aguas discurren por el cauce esta zona queda incomunicada. Sobre la confluencia del Barranco de Aguajilva con el de La Villa se dispone un puente de unos 5 m. de altura, asfaltado, bajo el cual el cauce natural ha sido canalizado, sufriendo un considerable estrechamiento.

3.1.2. *La evaluación de la magnitud de la amenaza: la elaboración del mapa de zonas inundables*

En Canarias, aunque son difíciles las inundaciones debido a la abrupta orografía de las islas, sí pueden producirse inusuales aumentos del caudal de agua en un cauce como consecuencia de fuertes escorrentías que pueden dar lugar a desbordamientos o avenidas, aunque de manera muy local. Estas fuertes precipitaciones, normalmente concentradas en un área muy concreta y en un corto periodo de tiempo, se producen de manera ocasional, por chubascos de fuerte intensidad horaria, en especial en los meses de noviembre a enero (Marzol, V., 1989). Aunque los valores máximos en 24 horas no son equiparables a los de la costa mediterránea española, sí presentan una inusitada violencia con varios centenares de milímetros en pocas horas y con graves efectos en sectores como el agrícola o en infraestructuras de transporte como puertos, carreteras y aeropuertos. El tiempo de retorno en precipitaciones superiores a los 200 mm/día oscila en las islas occidentales (La Palma, La Gomera, El Hierro, Tenerife y Gran Canaria) entre los 50 y los 100 años (Marzol, V., 1989). Las intensidades máximas a escala regional rondan los 400 mm/día —359 mm en Vilaflor, 360 mm en Izaña (Tenerife) y 428 mm en La Retamilla (Gran Canaria) que es el valor más alto registrado en todo el archipiélago, el 18 de noviembre de 1962 (Marzol, V., 1987)—, y los 310 en el caso de La Gomera, en la estación del Faro de San Cristóbal (San Sebastián de La Gomera) en 1960 (Plan Hidrológico de La Gomera, 2001). Como señala Marzol (1989), los chubascos de mayor intensidad horaria se dan, sobre todo, en las medianías de las vertientes orientales, siendo el papel del relieve muy destacado al acelerar las tendencias convectivas del aire.

La circulación atmosférica que crea las condiciones de fuerte inestabilidad es muy clara: a nivel superficial se retira el anticiclón atlántico casi permanente el resto del año, lo que permite el descenso en latitud y la llegada de borrascas del Frente Polar. En altura se localiza una depresión fría y el *Jet Stream* presenta, de manera frecuente, un recorrido sobre la vertical de Canarias, y en ocasiones, con una bifurcación, siendo el ramal meridional el que afectaría a las islas (Marzol, V., 1989). Esa situación sinóptica se refleja en una troposfera marcadamente inestable en la que, lógicamente, desaparece la frecuente inversión térmica de subsistencia propia de esta región del Globo. En los sectores orientales de las islas, con importantes desniveles, como es la cuenca del Barranco de La Villa, las mayores precipitaciones se originan cuando el descenso en latitud de las depresiones templadas es acusado y la masa de aire húmeda y muy inestable puede penetrar desde el Sur, con el consiguiente calentamiento superficial que ello supone y que acentúa las condiciones de inestabilidad. Asimismo, las pre-

cipitaciones de fuerte intensidad horaria en este sector de la isla también pueden producirse por una circulación del Este en superficie, lo que supone la advección de masas de aire cálido sahariano con la combinación de embolsamientos de aire frío en las capas medias y altas de la troposfera. Este tipo de situaciones es menos frecuente, pero da lugar a fuertes chubascos como ocurrió en febrero de 1989 o enero de 1999.

En este sentido, la probable ocurrencia de uno de estos episodios y la posibilidad de generar una situación de riesgo de avenida en el Barranco de Aguajilva ha sido elegida como hipótesis de trabajo, ya que debido a que su aparición es básicamente irregular en el tiempo y en el espacio, los estudios para la identificación y predicción de situaciones de este tipo adquirirían una gran importancia como un instrumento de mitigación de los posibles efectos catastróficos.

La cuenca del Barranco de Aguajilva se excava en materiales volcánicos antiguos, que datan del Mioceno, correspondientes a la serie estratigráfica de los Basaltos Antiguos del tramo medio y superior; se trata de materiales muy alterados, poco coherentes y fácilmente deleznable, de ahí la amplitud que ha adquirido la cuenca en relación con la superficie total de este espacio insular (369,76 km²). Como consecuencia de sus características geológicas existe un importante número de cauces de orden 1, de modo que la relación de bifurcación es elevada (2,678), al igual que la densidad de drenaje (4,92 km de cauces por km²). Como rasgos generales de la precipitación en esta cuenca hidrográfica y, según las seis estaciones pluviométricas que cuentan con series más largas y homogéneas (cuadro 1), se pueden extraer las siguientes conclusiones: a) la cantidad de lluvia recogida aumenta conforme ascendemos en altitud, de manera que los máximos se registran en la cabecera; b) la subcuenca de Aguajilva es la que presenta valores más altos; c) el período más lluvioso, como en el resto del archipiélago, es el que va de noviembre a enero, constituyendo éste, por tanto, el de mayor riesgo de avenida, evidenciando así los marcados rasgos mediterráneos de las precipitaciones en las islas; d) las lluvias son, en general, escasas (entre los 250 y 750 mm. anuales), pero con episodios cortos de gran intensidad horaria. Además, debido a las fuertes pendientes, el carácter impermeable del roquedo y el escaso recubrimiento vegetal, el coeficiente de escorrentía presenta valores elevados y el tiempo de concentración es muy corto (1'02 horas). Todo ello implica, junto con la forma alargada de la cuenca que, en caso de producirse precipitaciones anormalmente elevadas, existe una gran cantidad de cauces secundarios que vierten sus aguas muy rápidamente en el colector principal, de modo que la crecida tenderá a manifestarse en poco tiempo, lo cual dificultaría las tareas de evacuación en caso de ser necesarias.

Teniendo en cuenta las características geográficas de la cuenca de Aguajilva, los métodos utilizados para el análisis hidrológico del sistema generador de una posible avenida y la obtención de las zonas inundables ha sido la estimación de los caudales máximos de avenidas para los diferentes períodos de retorno y la determinación de la altura que podría alcanzar la lámina de agua.

A. Obtención del caudal máximo esperado

La determinación del caudal máximo que circulará por el Barranco de Aguajilva correspondiente a los períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, se ha estimado mediante la aplicación del método «Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas

Cuadro 1
PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES Y ANUALES¹

	Altitud	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
Aguajilva	580	79.9	73.7	43.7	30.6	12.4	12.1	3.7	3.0	11.4	88.1	165.6	124.1	758.7
La Laja	520	126.7	88.0	78.0	42.8	16.1	4.1	0.6	2.7	17.8	55.6	135.3	125.2	641.5
Chejelipes II	280	62.2	33.2	69.0	24.8	3.6	1.0	0.5	0.0	4.7	3.8	57.6	134.2	549.6
Chejelipes	260	64.2	45.4	54.8	22.4	4.8	2.5	0.7	0.9	3.5	38.0	81.4	107.4	414.5
Faro	70	46.8	26.0	34.0	8.9	4.6	1.1	0.0	0.6	4.0	25.9	64.4	26.4	247.0
La Marina	15	37.1	5.8	24.7	17.4	0.3	0.0	0.0	0.1	4.5	101.6	18.8	73.0	492.0

Fuente: Plan Hidrológico de la isla de La Gomera (2001).

naturales» propuesto por Témez (Martínez, A. y Navarro, J. 1996). Su elección se debe a su estrecha relación con la legislación canaria vigente en materia de prevención y planificación de riesgo de inundación, esto es, el Decreto Territorial 152/1990, de 31 de julio, por el que se aprueban las Normas Provisionales Reguladoras del Régimen de Explotación y Aprovechamiento del Dominio Público Hidráulico para captaciones de aguas o para utilización de cauces (Boletín Oficial de Canarias, núm. 109, de 27 de agosto de 1990). El citado Decreto establece que el deslinde del cauce público de los cursos de agua se efectuará a partir de la determinación de la altura máxima a la que llega el agua si se produjese una avenida originada por la precipitación máxima para un periodo de retorno de cien años, más un 20% para poder considerar el arrastre de sólidos. Asimismo, este método es especialmente adecuado para el estudio de pequeñas cuencas hidrográficas que no cuentan con estaciones de aforo, como es el caso del Barranco de Aguajilva; además, son valorados ciertos parámetros físicos de la cuenca, como la pendiente media, caracteres geológicos, edáficos, o la vegetación.

Como es sabido, el método de Témez se basa en la aplicación de la siguiente fórmula, cuyos resultados referidos a la cuenca de Aguajilva aparecen en la cuadro 2:

$$Q = 1.2 \frac{(CIA)}{3.6} K$$

Donde: Q = caudal punta para un determinado periodo de retorno (en m³/seg.).

I = máxima intensidad horaria de precipitación para dicho periodo de retorno (en mm/hora).

A = superficie de la cuenca (en km²).

C = coeficiente de escorrentía.

K = coeficiente de uniformidad.

1.2 = representa el arrastre de sólidos que se suma al caudal.

3.6 = cambio de unidades.

¹ Las series de precipitación en La Gomera presentan serios problemas de análisis derivados de la falta de datos, de manera que las estaciones expuestas corresponden aproximadamente a series de 10 a 20 años, con comienzos a principios de los 80 y final en los 90.

Cuadro 2
CAUDALES PUNTA PARA LOS PERÍODOS DE RETORNO

PR	Tc (horas)	P (mm) ²	Ka	Pd (mm)	P0	C	I (mm/h)	A (km ²)	K	Q (m ³ /s)
50	1.02	205	0.96	196,8	23	0.61	72.9	3,796	1.07	52.59
100	1.02	235	0.96	226,6	23	0.65	84.02	3,796	1.07	73.94
500	1.02	300	0.96	288	23	0.72	106.8	3,796	1.07	104.1

Donde: Tc = tiempo de concentración.

P = precipitación máxima diaria.

Ka = factor corrector de la precipitación.

Pd = precipitación máxima diaria corregida.

P0 = precipitación mínima necesaria para que comience a producirse la escorrentía.

Q = caudal máximo esperado.

B. Determinación de las zonas inundables

Una vez estimado el caudal máximo esperado, se ha procedido al cálculo de la altura máxima que podría alcanzar la lámina de agua, con el fin de determinar qué áreas se verán afectadas por la inundación. Para hallar este cálculo no existe un método directo, de manera que se ha aplicado la ecuación de Manning: $Q = 1/n S R^{2/3} J^{1/2}$, donde Q es el caudal (m³/s), S la sección del área inundada (m²), R el radio hidráulico, J la pendiente media del cauce (m/m), y n el coeficiente de rugosidad (0.07).

Mediante la realización previa de un corte transversal del barranco, se ha pretendido determinar *a priori* la altura que podría alcanzar la lámina de agua; para ello, la selección de los puntos de referencia se hizo a partir de la presencia/ausencia de elementos antrópicos susceptibles de ser afectados por la misma. A continuación, los caudales obtenidos por la aplicación de la fórmula de Manning se pusieron en relación con los calculados por la ecuación de Témex. El objetivo era estimar cada cuánto tiempo esos elementos antrópicos podían ser dañados por una inundación. Para ello se realizaron quince perfiles transversales del cauce principal objeto de estudio.

C. Mapa de zonas inundables

Con posterioridad, con el fin de identificar y clasificar las zonas inundables del Barranco de Aguajilva, se ha adoptado lo establecido en la Resolución de 31 de enero de 1995, de la

2 El valor de la precipitación máxima (P) se ha tomado del Plan Hidrológico Insular de La Gomera (2001). Debido a las deficiencias que presentan los datos pluviométricos, como la inexistencia de series largas de precipitación, carencia de continuidad y de homogeneización en la toma de datos, errores de transcripción, etc., se han trazado las isoyetas de máxima precipitación diaria a escala insular para los períodos de retorno de 50, 100 y 500 años. Posteriormente, el dato correspondiente a la cuenca del Barranco Aguajilva se ha obtenido por interpolación.

Secretaría de Estado de Interior, que dispone la publicación del acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (B.O.E. de 14 de febrero de 1995), en la que se clasifican las zonas inundables en función de los siguientes criterios:

- a) Zona de inundación frecuente: aquellas inundables para avenidas de período de retorno igual o inferior a cincuenta años ($T \leq 50$).
- b) Zonas de inundación ocasional: Zonas inundables para avenidas de período de retorno entre cincuenta y cien años ($50 > T \leq 100$).
- c) Zonas de inundación excepcional: Zonas inundables para avenidas de período de retorno entre cien y quinientos años ($100 > T \leq 500$).

Como resultado final, se ha obtenido el «mapa de zonas inundables» (mapa 2), que demuestra como, lógicamente, los sectores de inundación frecuentes son aquellos localizados en el cauce principal.

3.2. Fase de integración. La evaluación del grado de vulnerabilidad: la elaboración del mapa de exposición o de aptitud

La segunda fase de la modelación del riesgo implicó la identificación de las debilidades o fragilidad del componente o del sistema territorial y, sobre todo, la cuantificación de la magnitud del posible daño por las avenidas. Para ello, fue preciso evaluar el grado de exposición o nivel de susceptibilidad de los elementos expuestos a la amenaza, determinando su capacidad o sensibilidad para resistir su impacto.

Para lograr tal objetivo, se procedió a definir la aptitud del territorio del barranco de Aguajilva, con el fin de identificar el comportamiento del medio para con las actividades humanas; así, su determinación implicó estimar y valorar «la medida en que el entorno cubre los requisitos locacionales de las mismas» (Gómez Orea, D., 1999). Su representación cartográfica (mapa de aptitud) representa la cualidad o condición por la que los componentes estructurales del sistema territorial de la cuenca pueden ser considerados como vulnerables a la acción de una posible avenida o, por el contrario, se adecuan al territorio y, por tanto, quedan exentas de la situación de riesgo (mapa 3). Su elaboración resultó de la sobreposición cartográfica de las amenazas (zonas inundables) y de los elementos socioeconómicos del sistema territorial. En relación con este último aspecto, para la estimación de la vulnerabilidad se consideró al poblamiento, los terrenos de cultivo y el viario, teniendo en cuenta sus características.

La estimación mensurable y operativa de la magnitud de la exposición de los elementos antrópicos frente a las zonas inundables se ha realizado teniendo en cuenta que ésta es resultado de la relación del valor de la probabilidad de ocurrencia de la amenaza (zonas inundables) y del grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos a la misma; esto es, la exposición se produce cuando las dos variables se combinan de una forma desequilibrada o, lo que es lo mismo, cuando los elementos del sistema territorial son vulnerables a determinadas amenazas. Así, la exposición se puede definir como el producto de dicha probabilidad por el valor de la afección, pudiendo ser expresado de la siguiente forma matemática: $E = A \times V$,

donde E es el índice de exposición del elemento antrópico a la amenaza, A la magnitud de la amenaza (zonas inundables), y V el grado de vulnerabilidad del elemento antrópico.

La valoración se formalizó mediante un cuadro de doble entrada que se ha denominado «matriz de exposición». En una de las entradas (primera columna) se dispuso las zonas inundables y en la otra (primera fila) los parámetros-componentes del riesgo de avenida (amenaza y vulnerabilidad); las casillas de cruce se rellenaron con los valores resultantes de la aplicación de la anterior ecuación de valoración, expresado en los mencionados grados de riesgo (alto, significativo y bajo). En definitiva, lo que se ha pretendido ha sido la estimación del grado o nivel de exposición de los elementos vulnerables frente a la potencial amenaza, con el fin de proceder a la clasificación de las zonas inundables en función del mismo y a la cuantificación de las afecciones y daños que puedan producirse por la ocurrencia de inundaciones y/o avenidas.

3.3. Fase de valoración de los elementos en riesgo. El mapa de zonas de riesgo

La modelación del riesgo no se limita a la identificación e integración de las variables implicadas en el mismo, como hemos hecho hasta este momento, sino a su valoración. Para ello, se han tomado en consideración los criterios de valor del riesgo de avenidas contenida en la citada Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aunque adaptados a la estructura territorial del Barranco de Aguajilva:

- a) Zonas A o de riesgo alto. Son aquellas en las que las avenidas de cincuenta, cien y quinientos años producirán graves daños a núcleos de población importante. También se considerarán zonas de riesgo máximo aquellas en las que las avenidas de cincuenta años produciría impactos a viviendas aisladas, o daños importantes a las actividades agrarias y/o a los servicios básicos.
- b) Zonas B o de riesgo significativo. Son aquellas zonas, no coincidentes con la anterior, en las que la avenida de los cien años produciría impactos en viviendas aisladas, y las avenidas de período de retorno igual o superior a los cien años, daños significativos las actividades agrarias y/o servicios básicos.
- c) Zonas C o de riesgo bajo. Son aquellas, no coincidentes con las zonas A ni con las zonas B, en las que la avenida de los quinientos años produciría impactos en viviendas aisladas, y las avenidas consideradas en los mapas de inundación, daños pequeños a las actividades agrarias y/o servicios básicos.

La aplicación de la anterior metodología al Barranco de Aguajilva ha dado como resultado un mapa de zonas de riesgo de avenida. Éste representa cartográficamente la predicción realizada a partir de la hipótesis de trabajo y, mediante su zonificación, la valoración de los efectos de la avenida (amenaza) sobre los elementos antrópicos.

De acuerdo con el planteamiento conceptual del riesgo, se comprueba que las zonas de riesgo alto y significativo se localizan en el tramo final de la cuenca (0,08% y 0,5% respectivamente, respecto a la superficie total de la cuenca), al coincidir con la concentración en el mismo de las actividades humanas (cultivos, viviendas e infraestructuras viarias), mientras que el riesgo bajo en el tramo medio tiene que ver con explotaciones agrícolas (0,8%). Desde

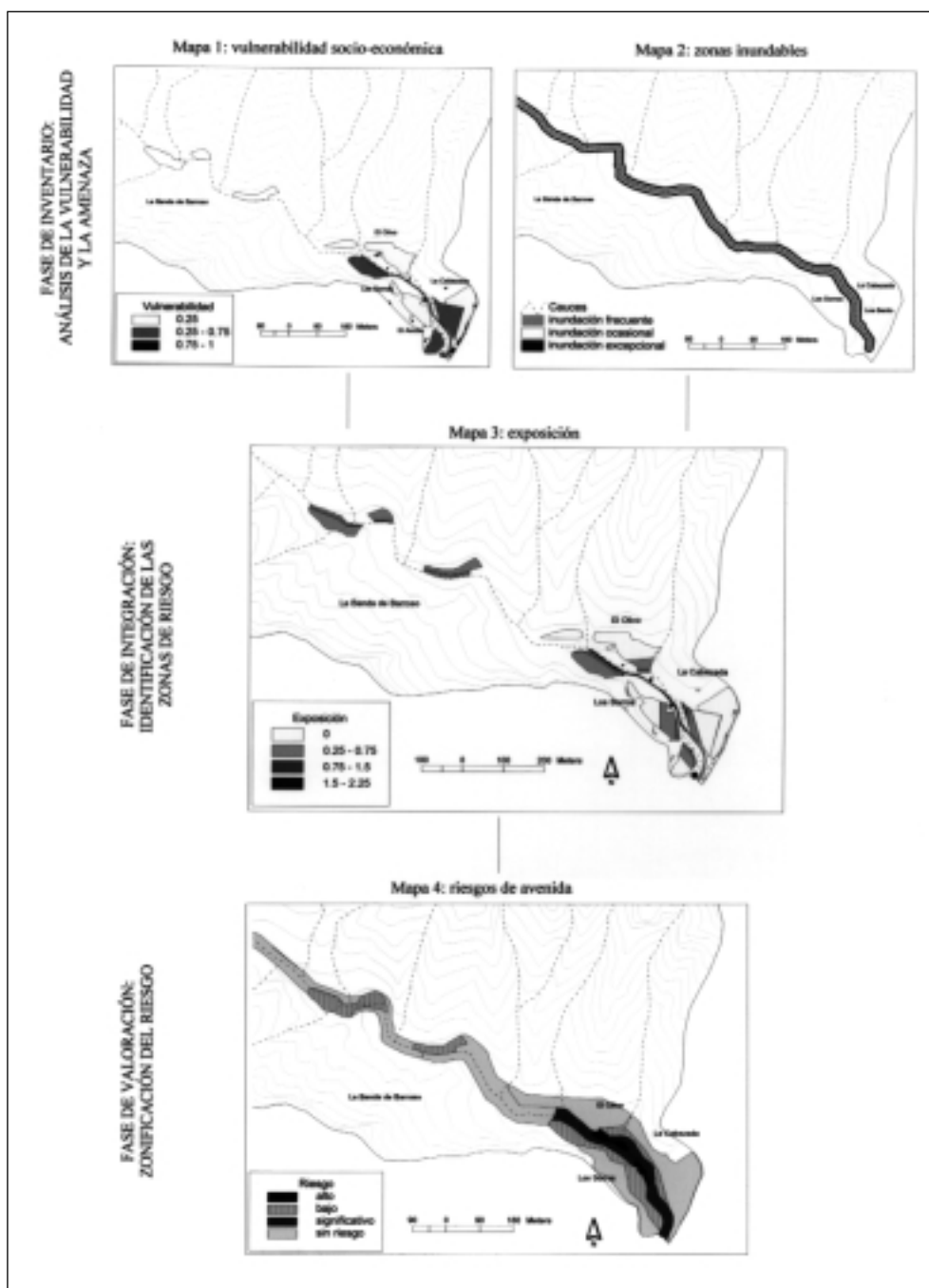


Figura 3. Planteamiento metodológico de la modelación del riesgo de avenida.

esta perspectiva, determinadas zonas potencialmente inundables quedan exentas de la condición de zonas de riesgo real, debido a la inexistencia de elementos antrópicos.

4. LA CONSTATACIÓN DE LA HIPÓTESIS: LA VALORACIÓN DE LA VALIDEZ Y EFECTIVIDAD DEL MAPA DE RIESGO

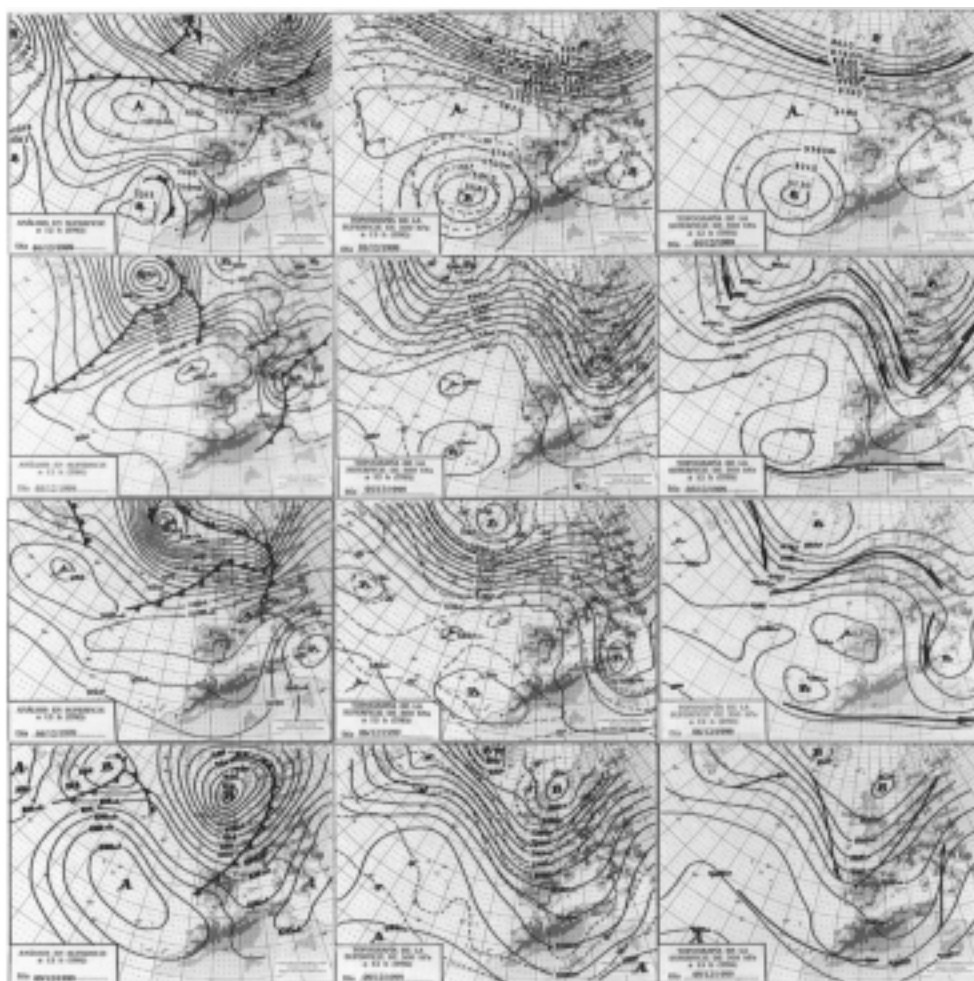
4.1. La situación sinóptica del episodio de precipitaciones de fuerte intensidad horaria

Como se ha comentado, las precipitaciones de fuerte intensidad horaria en este sector de la isla de La Gomera resultan de la combinación de la advección de masas de aire cálido sahariano en superficie y el embolsamiento de aire frío en las capas medias y altas de la troposfera. Esta situación es la que se produjo a principios de diciembre de 1999, provocando graves consecuencias, cuya comparación con los efectos estimados en el mapa de riesgos nos va a permitir la comprobación de su efectividad.

Desde finales de noviembre de 1999 el archipiélago canario se vio sometido a una atmósfera inestable debido a la instalación, entre el cabo de San Vicente, Canarias y Madeira, de una depresión en toda la columna troposférica, con aire frío en las capas altas (figura 4), dando lugar a precipitaciones importantes, especialmente en los sectores de altitud media. Aunque la situación de inestabilidad se mantuvo en los días siguientes, en superficie la presión aumentó progresivamente y el día 5 de diciembre un gran centro de altas presiones, situado muy cerca de las costas gallegas, englobó bajo su radio de acción al archipiélago, siendo aún más patente el día 6. En esos momentos, por tanto, los vientos pasaron a ser del Este en superficie, relativamente cálidos por su procedencia sahariana, como indican las temperaturas de las estaciones costeras, llegando hasta los 24°C de máxima frente a los 20-22° de los días anteriores y posteriores. Sin embargo, en altura aún fueron evidentes la presencia de masas de aire frías, con una bifurcación del *Jet Stream* en dos ramales, situado el meridional sobre las islas y propiciando la ciclogénesis. Por último, señalar que en las jornadas siguientes (9 de diciembre), se reforzó el anticiclón atlántico, desapareciendo totalmente la inestabilidad sobre toda la región.

Las condiciones descritas fueron propiciadoras de chubascos de fuerte intensidad horaria, con una distribución espacial muy desigual. La acción de los barrancos refuerza los ascensos del aire y puede llegar a intensificar las lluvias al «forzar la convección y canalizar y acelerar la velocidad del viento» (Marzol, V., 1989). En el caso que nos ocupa, se favoreció que se registrase un mayor total pluviométrico al tratarse de un barranco abierto al Este con una cabecera a unos 1.000 metros de altitud y pendientes pronunciadas lo que dio lugar a la fuerte inestabilidad atmosférica. Ésta se tradujo de manera muy puntual, con células convectivas aisladas que propiciaron la formación de potentes cúmulonimbos en los que, indiscutiblemente, la orografía jugó un papel determinante.

Según los datos aportados por la red pluviométrica del Instituto Nacional de Meteorología, aunque no se refieren exactamente a la subcuenca del Aguajilva sino a otros sectores del Barranco de la Villa, indican una fuerte concentración de la lluvia en una área muy concreta y de reducidas dimensiones que estaría comprendida entre el curso medio y la cabecera. Así, mientras que la estación de Chejelipes, muy cerca de Aguajilva, registró 140 mm., en la de San Sebastián, en la costa, apenas a 7 km. de la anterior, no llovió absolutamente nada; por su



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología.

Figura 4. Situación sinóptica que produjo la avenida del Barranco de Aguajilva.

parte, los datos estimados por el Consejo Insular de Aguas de La Gomera dan un total de alrededor de 240 mm en Aguajilva, localizada a un 1,5 km de Chejelipes (resulta imposible determinar la hora exacta de la precipitación, únicamente es posible trabajar con periodos de 24 horas). Esta localización, muy puntual en el tiempo y en el espacio, en apenas algunos kilómetros cuadrados y algunas horas, de fuertes precipitaciones es habitual en sectores de montaña, y son tristemente célebres algunos de estos episodios como el de Biescas en agosto de 1996, en el que se superaron los 170 mm en algo más de dos horas (Cancer, L., 1996); en el caso de Aguajilva, estas lluvias produjo un caudal aproximado a los 70 m³/seg., lo que provocó un proceso de avenida, con el consiguiente, desbordamiento del cauce.

4.2. La evaluación de la incidencia de la avenida: la validación del mapa de riesgos

La correlación entre las precipitaciones intensas acaecidas y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables del Barranco de Aguajilva, entre las que destacamos la inadecuada ubicación de los elementos antrópicos, dio como resultado la ocurrencia de una situación catastrófica, aunque con pérdidas únicamente de carácter material (figura 5). Según un informe del Ayuntamiento de San Sebastián de La Gomera la estimación de los daños y desperfectos se cuantificaron en 485 millones de pesetas. Éstos se concentraron fundamentalmente en roturas de paredes de los bancales, pérdida de animales domésticos, desperfectos en las infraestructuras (la rotura del canal de trasvase de Aguajilva a la presa de Chejelipes, la destrucción total de los sistemas de saneamiento y agua potable de distintos núcleos de población, los accesos a Los Olivos, las redes de riesgo, y descalzamiento de puentes y de muros laterales de contención del cauce), vehículos arrastrados por las aguas e inundación de algunas casas colindantes al cauce.

La superposición de los mapas de riesgo de avenidas (figura 3) y de daños derivados del fenómeno hidrológico descrito (figura 5) muestra una estrecha correspondencia entre la estimación realizada y la ocurrencia efectiva de la avenida, coincidiendo con las previsiones. Las mayores pérdidas se concentran en el tramo final del Barranco, debido a la concentración de actividades humanas en zonas potencialmente inundables. Así, se constata la validez de los mapas de riesgo y, por ende, del método utilizado y de las hipótesis de trabajo que contienen en relación con las zonas inundables y su impacto sobre los elementos antrópicos expuestos.

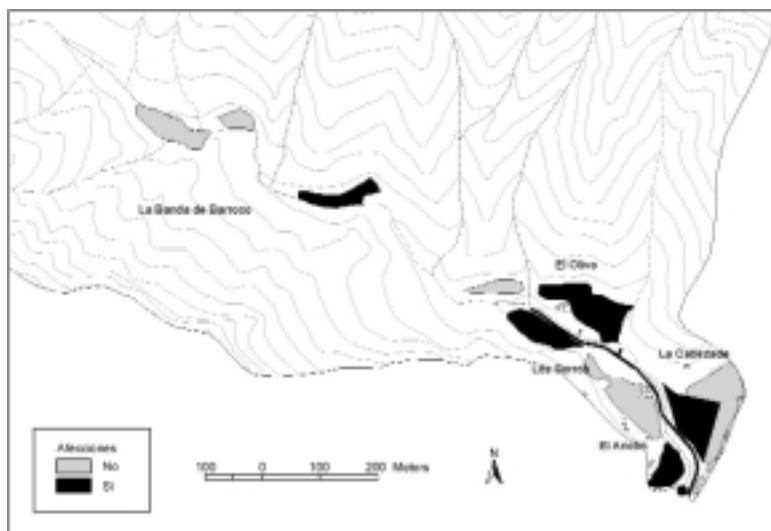


Figura 5. Elementos antrópicos dañados por la avenida del 6 diciembre de 1999.

5. CONCLUSIONES

Las avenidas en la cuenca de Aguajilva tienen un desencadenante atmosférico, es decir, requieren de un episodio de cuantiosas precipitaciones. Aunque la sociedad no puede alterar su ocurrencia e intensidad, puede intervenir activamente para que sus efectos no se conviertan en desastres de gran magnitud, esto es, sobre la vulnerabilidad. En este sentido, el mapa de riesgo de avenidas (mapa de síntesis) supone un instrumento cartográfico que permite, por una parte, identificar, delimitar (zonificar) y evaluar cuantitativa y cualitativamente las distintas zonas de posible ocurrencia de tal evento y, por otra, elaborar un hipotético escenario a partir de técnicas de carácter prospectivo, que permite describir y valorar la evolución del sistema territorial y estimar los daños (humanos y materiales) en función del comportamiento de las variables-clave y el juego de hipótesis.

Desde esta perspectiva, el mapa de riesgos se convierte en una herramienta adecuada para el diseño de medidas de mitigación, con las que se pretende minimizar los efectos negativos de las posibles avenidas al reducir o eliminar el grado de exposición de los elementos antrópicos. Entre ellas, dicho mapa permite proyectar acciones como reforzamiento de los muros de los bancales de cultivo, las características técnicas de las infraestructuras y servicios, creación de embalses, etc.

Debido a que el concepto de riesgo indica únicamente la probabilidad de ocurrencia de los efectos adversos derivados de la avenida, su mapa sólo se refiere a las zonas con ocupación humana. Por esta razón, debe complementarse con el de zonas inundables con el fin de lograr una proyección y localización adecuada de nuevas actividades en relación con el riesgo de avenidas. Estas medidas de prevención se concretarían en una adecuada ordenación del territorio, con el fin de lograr la optimización territorial de las actividades humanas, entre las que destaca fundamentalmente la necesidad de delimitar el dominio público hidráulico del cauce y las zonas de servidumbre, que van a condicionar y regular el conjunto de instrumentos de planificación territorial (Plan Insular de Ordenación) y de planeamiento urbanístico (Plan General de Ordenación).

No obstante, dicha ordenación no debe limitarse al contexto territorial de la cuenca hidrográfica de Aguajilva, sino que debe extenderse al conjunto del Barranco de la Villa en la que se inserta. En este sentido, las cuencas hidrográficas constituyen unidades territoriales y sistemas hídricos con una clara delimitación geográfica y topográfica.

Por último, la aplicación del SIG, además de facilitar la consideración de todas las variables que intervienen en el proceso de modelación del riesgo, ha permitido el tratamiento analítico y sistemático de los datos espaciales, sin perder la referencia territorial. La implementación del SIG en temas de análisis de riesgo resulta especialmente útil, entre otros aspectos, para el análisis integrado del territorio, la evaluación del comportamiento espacio-temporal de los desastres, el análisis retrospectivo de la ocurrencia de desastres, la prospección de vulnerabilidades y riesgos, la recopilación, acumulación y homogeneización de información y el tratamiento y presentación óptimo de la información geográfica.

BIBLIOGRAFÍA

- ABAD, J. *et al.* (1983): «Los riesgos naturales en la planificación territorial», en *II Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen de Comunicaciones. Madrid, GEGAOT, págs. 663-682.
- ANEAS DE CASTRO, S. D. (2000): «Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía», en *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, número 60. [en línea] <http://www.ub.es/geocrit/sn-60.htm>
- AROZENA, M^a.E. (1991): *Los paisajes naturales de La Gomera*. Santa Cruz de Tenerife, Excmo. Cabildo Insular de La Gomera, 346 págs.
- BAILLY, A. (dir.) (1995): *Risques naturels, risques de sociétés*. París, Economica, 103 págs.
- BARREDO, J. (1996): *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ra-ma Editorial, 264 págs.
- BLAIKIE, P.; CANNON, T., DAVIS, I. y WISNER, B. (1994): *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*. Londres, Routledge.
- CALVO GARCÍA-TORNEL, F. (1989): «Grandes avenidas e inundaciones históricas», en GIL, A. y MORALES, A.: *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo*. Alicante, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, págs. 333-345.
- CALVO GARCÍA-TORNEL, F. [1997]: «Algunas cuestiones sobre Geografía de los Riesgos», en *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, n° 10. [en línea] [<http://www.ub.es/geocrit/sn-10.htm>]
- CÁNCER POMAR, L. (1996): «La catástrofe del Barranco de Arás (7/8/1996): procesos naturales e hipótesis explicativa». *Geographicalia*, n° 33, págs. 51-71.
- CARDONA, O. D. (1996): «Variables involucradas en el manejo de riesgos». *Desastres y Sociedad*, n° 6, págs. 79-102.
- CENDRERO, A. (1997): «Riesgos naturales e impacto ambiental», en NOVO, M^a y LARA, R. (coordinadores): *La interpretación de la problemática ambiental: enfoques básicos*. Volumen II. Madrid, Fundación Universidad-Empresa, págs. 23-90.
- CONSEJO INSULAR DE AGUAS (2001): *Plan Hidrológico de la isla de La Gomera*. Excmo. Cabildo Insular de La Gomera.
- CUTTER, S.L. (comp.) (1994): *Environmental Risks and Hazards*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- GARCÍA, J.M. *et al.* (1996): *La catástrofe del barranco de Arás, (Biescas, Pirineo aragonés) y su contexto espacio-temporal*. Zaragoza, C.S.I.C. / Instituto Pirenaico de Ecología, 54 págs.
- GÓMEZ OREA, D. (1999): *Evaluación de impacto ambiental*. Madrid, Editorial Agrícola Española/ Mundi-Prensa, 701 págs.
- KRIMSKY, S. y GOLDING, D. (comps.) (1992): *Social Theories of Risk*. Westport, CT, Praeger.
- LAVELL, A. (compilador) (1994): *Viviendo en riesgo. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina*. Bogotá, LA RED / FLACSO / CEPREDENAC. Edición Tercer Mundo Editores, 386 págs.
- LIVERMAN, D. (1990): «Vulnerability to global environmental change», en KASPERSON, R.E.; DOW, K.; GOLDING, D. Y KASPERSON, J.X. (comps.): *Understanding Global*

- Environmental Change: The Contributions of Risk Analysis and Management*. Worcester, MA. The Earth Transformed Program, Clark University, págs. 27-44.
- LOVÓN ZAVALA, G. *et al.* (1985): *Desastres naturales y sociedad en América Latina*. Buenos Aires, Grupo Editor Latinoamericano.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A. y CASTILLO RODRÍGUEZ, F. (1996): «Condicionantes atmosféricos de las precipitaciones elevadas y su relación con algunas inundaciones en el área de Padrón (Ría de Arosa, Galicia), en MARZOL, V.M.; DORTA, P. Y VALLADARES, P. (eds.): *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*. La Laguna, págs. 37-48.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA, A. y NAVARRO HEVIA, J. (1996): *Hidrología forestal: el ciclo hidrológico*. Valladolid, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Valladolid, 286 págs.
- MARTÍNEZ, V., DAL-RÉ, R., GARCÍA, A., AYUGA, F. (2000): «Modelación distribuida de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas mediante SIG. Evaluación experimental. *Ingeniería Civil*, nº 117, págs. 49-58.
- MARZOL JAÉN, M.V. (1988): «Situaciones atmosféricas de lluvias intensas en Canarias». Reunión científica internacional sobre avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo, Alicante – Murcia, págs. 107-116.
- MARZOL JAÉN, M.V. (1988): *La lluvia, un recurso natural para Canarias*. Santa Cruz de Tenerife, Caja General de Ahorros de Canarias.
- MASKREY, A. (1989): *El manejo popular de los desastres. Estudios de vulnerabilidad y mitigación*. Lima, ITDG, 208 págs.
- MASKREY, A. (compilador) (1993): *Los desastres no son naturales*. Bogotá, La Red-ITDG. Tercer Mundo Editores, 166 págs.
- MATEU, A. (1992): «La Geografía de los riesgos en España», en VV.AA.: *La Geografía en España (1970-1990)*. Madrid, Real Sociedad Geográfica / A.G.E. / Fundación BBV, págs. 241-245.
- MITCHELL, J.K. (1990): «Human dimensions of environmental hazards: complexity, disparity and the search for guidance», en KIRBY, A. (comp.): *Nothing to Fear: Risks and Hazards in American Society*. Tucson, University of Arizona Press, págs. 131-175.
- NACIONES UNIDAS (1979): *Prevención y mitigación de desastres*. Nueva York, UNDRO. 145 págs.
- PALM, R.I. (1990): *Natural Hazards. An Integrative Framework for Research and Planning*. Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- SAURÍ, D. y RIBAS, A. (1994): «El análisis del riesgo de avenida en las escuelas geográficas anglosajona, francesa y española», en *Estudios Geográficos*, nº 216, págs. 481-502.
- VV.AA. (1999): *Los sistemas de información geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente*. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente / Instituto Tecnológico Geomínero de España.
- WHITE, G. (1975): «La investigación de los riesgos naturales», en CHORLEY, R. (editor): *Nuevas Tendencias en Geografía*. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local, págs. 281-315.