

Zonificación de la amenaza por inundaciones en la planicie aluvial del río Borburata, estado Carabobo, Venezuela

Zoning of the flood hazard in the Borburata river alluvial plain, Carabobo state, Venezuela

Larry Rivas (1)
rivaslarry@gmail.com

Juan Carrera (2)
juan.jmcr14@gmail.com

(1)Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas,
(2)Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Centro de Oceanología y Estudios Antárticos

Artículo recibido en septiembre 2015 y publicado en enero 2016

RESUMEN

El propósito del estudio fue zonificar la amenaza por inundaciones en la planicie aluvial terminal del río Borburata. La metodología consideró: a) Fase de campo, se corroboraron algunas variables físico-geográficas en el área; b) fase de laboratorio, se realizaron Modelos de Elevación Digital del Terreno (MEDT); y c) fase de oficina, se analizó la distribución espacio – temporal de las precipitaciones, cálculo de los parámetros morfométricos, estimación de las profundidades de las láminas de inundación y los caudales pico. Los resultados indican un régimen bimodal con mayor presencia de lluvias entre los meses de Abril y Diciembre, caudales pico de 6,2 m³/s y 941,8 m³/s para períodos de retorno entre 2 y 1000 años. La morfometría refleja cuencas de dimensiones pequeñas, con tiempos de concentración cortos. Se concluye que el área presenta alta amenaza por inundaciones, principalmente en los sectores de la llanura donde se encuentra emplazada la población de Borburata.

Palabras clave: Zonificación de la amenaza; inundación; planicie aluvial; Borburata; estado Carabobo

ABSTRACT

The purpose of the study is zoning the flood hazing the Borburata River alluvial plain. The methodology considered: (a) Field stage, some physical-geographical variables of the area were corroborated; (b) laboratory stage, Terrain Digital Elevation Models (TDEM) were made; and (c) phase cabinet, the distribution space and temporary of the rainfalls were analyzed, calculation of the morphometric parameters, estimate of the flood sheet deep sand peak discharges. The results indicate a bimodal regime with greater presence of rains between the months of April and December, peak discharges of 6.2m³/s and941.8m³/s for return periods between 2 and1000 years. Morphometry reflects catchments of small dimensions, with short concentration times. It is concluded that the area presents a high flood hazard, mainly in the sectors of the plain where the Borburata population is located.

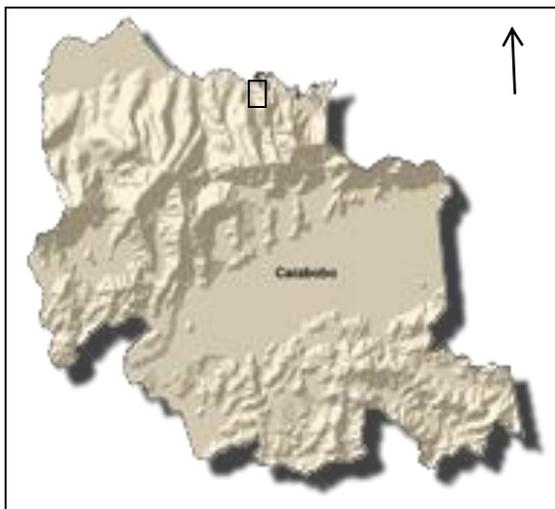
Key words: Hazard zoning; flood; alluvial plain; Borburata; Carabobo state

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, unos de los eventos bien marcados en la historia de los desastres por inundaciones, lo constituye el alud torrencial del 06 de septiembre de 1987 en la población de El Limón (estado Aragua), el cual dejó como saldo a más de 100 personas muertas, 90 desaparecidos, 300 heridos y miles de damnificados.

El otro evento de esta naturaleza que resalta en nuestra historial de desastres, fue causado por las lluvias de diciembre de 1999 en las cuencas del estado Vargas, desencadenando deslizamientos superficiales, acompañados de caídas de grandes bloques, muchos de los cuales estaban estructuralmente fracturados; así mismo, el material removido fue arrastrado a lo largo de los canales de los cursos de los ríos. Las fuertes pendientes facilitaron el rápido descenso del material hacia las partes planas e incluso hasta la margen costera, inundando y arrojando pérdidas de vidas humanas muy probablemente superiores a 1000 ó más personas (Andressen y Pulwarty, 2001).

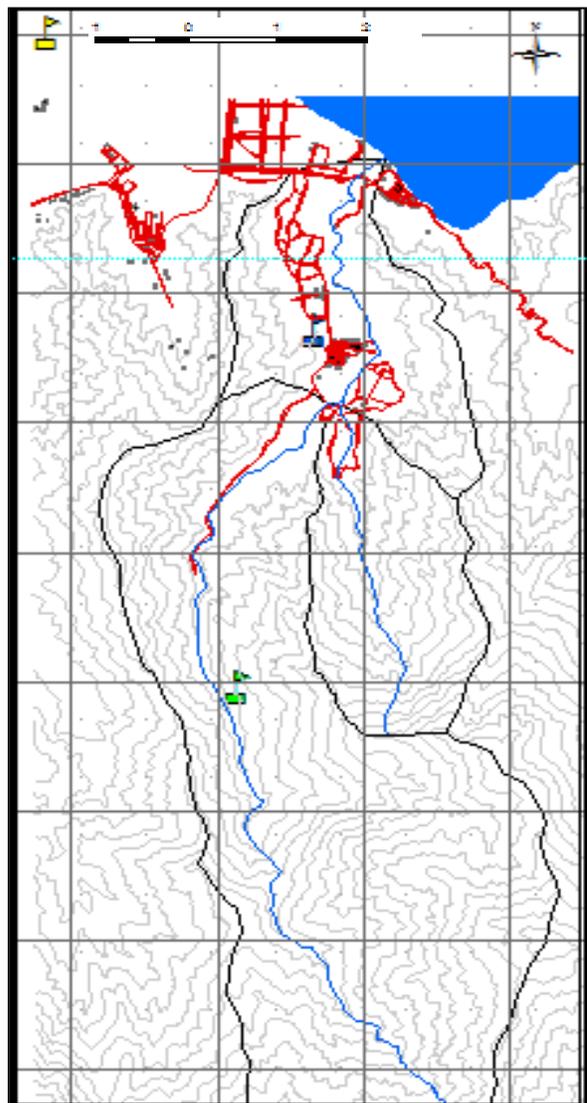
De igual manera, el río Borburata con una cuenca más pequeña en dimensiones, pero con características similares ha generado en diferentes ocasiones eventos de inundaciones importantes, por ello los estudios en las planicies aluviales representan relevancia significativa, como el caso que nos ocupa, en el que desde el año 2004 hasta 2010 se han presentado eventos de inundaciones, con afectaciones en los habitantes de esta localidad y poblaciones aledañas. La cuenca este río se encuentra ubicada en el estado Carabobo (ver gráfico 1) en la región Centro Norte Costera, en la vertiente norte de la serranía del litoral.



Situación relativa regional



Situación relativa nacional



Situación relativa local

Gráfico 1. Localización de las cuencas de drenaje del río Borburata y de la quebrada Cachirí, estado Carabobo Venezuela.

En síntesis, el propósito de la investigación radica en identificar en la localidad de Borburata en atención a las características geomorfológicas de su entorno, las condiciones Pluviométricas que presenta la región, y en particular en la cuenca alta del río Borburata, los escenarios que se generan durante los períodos de lluvia los cuales se expresan en el incremento del nivel de las aguas del río, originando grandes áreas inundadas, ya que esta localidad se encuentra inmersa dentro de la llanura aluvial.

MÉTODO

La metodología comprendió tres fases, la primera denominada de campo, donde se identificaron los elementos geomorfológicos presentes en el área de estudio, se evaluaron las características hidráulicas del cauce del río mediante mediciones en la llanura aluvial, levantamiento de perfiles transversales del cauce, y mediciones de algunos parámetros morfométricos. De igual manera se realizó un registro fotográfico del área de estudio desde su desembocadura hasta la planicie aluvial.

Adicionalmente, se corroboraron algunas de las variables físico-geográficas del área de estudio, como el tipo de vegetación que predomina desde las zonas costeras hasta la parte alta de la cuenca. Además, se tomaron algunas muestras representativas de la litología aflorante en el área con la intención de corroborar la información presente en los mapas geológicos. También, se realizó un recorrido por todas las calles del área de estudio con ayuda de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) marca Garmin modelo Extrex Legend, con la intención de levantar la información base para la actualización de la cartografía disponible.

Mapas temáticos

Todos los mapas se realizaron en la fase de laboratorio, la cual comprendió la utilización de diferente software tanto para la elaboración de los diferentes mapas temáticos del área de estudio, como para el cálculo de algunas variables. En primera instancia se contó con apoyo en una plataforma de Sistema de Información Geográfica (SIG) software MapInfo, para la realización de los mapas: Topográfico, hidrográfico, pendiente y el modelo de elevación digital del terreno (MEDT).

Para la realización de los diferentes mapas a escala 1:25.000, se digitalizaron las cartas topográficas del área de estudio, entre ellas las de hidrografía, tomando en cuenta el río y la quebrada que conforman la red de drenaje de la cuenca del Borburata. Para el mapa topográfico se digitalizaron todas las curvas de nivel y para el mapa de

vegetación y geológico se realizaron polígonos de cada una de las cubiertas presentes en el área de estudio.

En cuanto a los mapas a escala 1:5.000 se realizó el mismo procediendo. Se rastreó y digitalizó la información presente en las cartas topográficas. En este caso es importante recalcar que la digitalización se realizó con la plataforma de Sistema de Información Geográfica (SIG), ArcGIS ya que éste software presenta mayor tecnología y herramientas para digitalizar.

Estimación de caudales pico de crecientes

El cálculo de los caudales pico se realizó mediante la utilización del software Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC–HMS), el cual es un modelo hidrológico desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, y posee una aplicación para desarrollar modelos de un evento, ideal para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía de eventos extremos.

Los caudales pico fueron calculados para la cuenca del río Borburata, la quebrada Cachirí y para la confluencia de ambos cursos de agua. Para la estimación de los caudales se debió desarrollar tres componentes que el programa posee. Inicialmente se trabajó el primer componente donde se destacaron las características físicas de las cuencas; luego se desarrolló el segundo componente correspondiente al modelo meteorológico, en esta etapa se seleccionó el Meteorology Model Manager, el cual calcula la entrada de precipitación que requiere la subcuenca; y el último componente se denomina especificaciones de control, en lo cual se detalló el día, mes y año del comienzo y de finalización de la tormenta.

Es importante destacar que el procedimiento anterior se realizó para un solo período de retorno, luego se debió de repetir el procedimiento para los diferentes períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 y 1000 años.

Cálculo de la altura de la lámina de agua

Para determinar la altura de la lámina de agua y posteriormente identificar cuáles son las zonas afectadas por la ocurrencia de inundaciones en diferentes períodos de retorno, se utilizó el software HEC-RAS (River Analysis System-Hydrologic Engineering Center) elaborado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Este programa tiene precargado diferentes modelos los cuales se podrán utilizar de acuerdo a las características de cada cuenca. El modelo empleado fue Steady Flow, por ser el que mejor se adaptó en la representación geográfica del área de estudio, debido a que el modelo hidrológico presenta al río Borburata como curso principal y a la quebrada Cachirí como afluente.

Zonificación de la amenaza por inundación

Luego de obtener la altura de la lámina de agua para los diferentes períodos de retorno con el software HEC-RAS, se procedió a utilizar el software ERDAS 8.4 mediante la función Virtual GIS, el cual permite la creación de una "Water Layer", y a la cual se le asignó un valor de altura para cada período de retorno. Luego se utilizó el MEDT de la cuenca para poder visualizar la altura de la capa de agua con el período de retorno correspondiente. Es importante destacar, que el procedimiento antes expuesto se debió realizar para cada uno de los períodos de retorno; de igual manera, se repitió para cada uno de los perfiles transversales que se levantaron a lo largo de la llanura aluvial.

Caracterización de la distribución espacial y el régimen anual de las precipitaciones

La caracterización de las precipitaciones en el sector de interés se realizó mediante la selección de estaciones pluviográficas y climatológicas, las cuales se discriminaron fundamentalmente por la ubicación geográfica cercana al área y la altitud en las que se ubican. Las estaciones seleccionadas están distribuidas a lo largo de la cuenca. La

primera es la estación Puerto Cabello - Base Naval, la cual se encuentra ubicada muy cerca de la desembocadura del río Borburata y a una altitud de 2 m.s.n.m.; la segunda estación Hacienda El Manglar, se encuentra ubicada en la llanura de inundación y registra una altitud 20 m.s.n.m.; y por último la estación Borburata que se ubica en la cuenca media con una altitud de 250 m.s.n.m.

Los datos suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) presentan ausencia de algunos valores, por lo cual fue necesario estimar los datos faltantes de los montos de precipitaciones mensuales, mediante la aplicación del método Racional de Guevara (1987). A los datos seleccionados se les realizó el cálculo de parámetros descriptivos como valores mínimos, valores máximos, media aritmética, desviación estándar y coeficientes de variación, para los montos de precipitación mensuales y anuales.

Morfometría de las cuencas de drenaje

El cálculo de los parámetros morfométricos de la cuenca del río Borburata y la quebrada Cachirí se realizó bajo tres modalidades: la primera se realizó de forma manual y consistió en realizar los cálculos directamente sobre las cartas topográficas a escala 1:5000; la segunda consistió en cálculos a través del Sistema de Información Geográfica (SIG) MapInfo Professional; y por último, en el programa Excel con las fórmulas que definen a cada parámetro.

Estimación del tiempo de concentración

Kirpich (1940; c.p. Chow, Maidment y May, 1994) desarrolló una ecuación empírica para estimar el tiempo de concentración con información de pequeñas cuencas de Tennessee siendo: $T_c = 0,02L^{0,77} S^{-0,385}$

dónde:

- T_c= tiempo de concentración (minutos)
- L= longitud máxima a la salida (m)
- S= pendiente media del lecho (m/m)

Análisis de frecuencia de eventos extremos

La construcción de las curvas de Profundidad-Duración-Frecuencia (PDF) e Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para eventos de precipitaciones extremas, se realizó mediante la selección de datos de profundidades de láminas máximas anuales de precipitación, suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y debían superar los 10 años de registro. Los datos que cumplieron con la premisa fueron las precipitaciones con duraciones de 15, 30 y 120 minutos, las cuales presentaban series de 29 años, por último, las duraciones de 60, 180, 360, 540, 720, 1440 minutos presentaron series de 34 años.

Las profundidades de láminas máximas anuales de precipitación se transformaron en intensidades de lluvias, para ello se procedió a dividir el tiempo de la duración de la precipitación entre 60 min, luego el resultado se divide entre el valor de profundidad de la lámina del mismo tiempo de duración. El procedimiento se repitió con cada uno de los tiempos de duración.

RESULTADOS

El pueblo de Borburata ha sido históricamente una localidad región vulnerable ante la ocurrencia de inundaciones, en particular en los últimos siete años de acuerdo a los registros. Las inundaciones del año 2008 son las que generaron mayor número de personas y viviendas afectadas, esto sugiere lluvias de gran intensidad que son capaces de generar episodios de inundación de varios días.

Distribución espacio – temporal de las precipitaciones en las cuencas de drenaje del río Borburata y de la quebrada Cachirí

Los eventos pluviométricos extremos son episodios lluviosos de gran intensidad, capaces de desencadenar procesos geomorfológicos de gran magnitud e importantes consecuencias en pérdidas económicas y humanas (Beguería y Lorente, 1999).

Asimismo, las inundaciones con efectos devastadores son causadas cuando se originan en áreas de montaña, atribuidas a la energía que se desencadena como consecuencia de una topografía accidentada e inestable. Además, estos episodios se caracterizan por su baja frecuencia temporal y por presentar una distribución espacial aparentemente errática (Beguería y Lorente, 1999).

Guevara, Guevara, y García, (2008) plantean que los fenómenos hidrometeorológicos se estudian mediante los análisis de las series de datos medidos en sitios o estaciones de medición, distribuidos sobre el área de la región considerada, por ello el análisis de la distribución espacial de las precipitaciones se realizó con tres estaciones, la primera Puerto Cabello-Base Naval, Hacienda el Manglar y Borburata. El período de estudio comprende un total de 17 años entre 1973 y 1990.

El comportamiento de las precipitaciones de acuerdo a los promedios mensuales de la estación Puerto Cabello - Base Naval (ver gráfico 2 (a)) evidencian que los montos más bajos de precipitación se presentan para los meses de Febrero y Marzo con valores de 6,1 y 6,0 mm respectivamente, mientras que a partir del mes de Abril los montos de precipitación comienzan a incrementarse hasta llegar a los meses de Septiembre y Noviembre donde se presentan los máximos valores de precipitación con 56,7 y 66 mm respectivamente, lo que determina un régimen pluviométrico de carácter unimodal. Los meses más lluviosos se distinguen desde Abril hasta Diciembre, mientras que los de escasas precipitaciones abarcan desde Enero hasta Marzo.

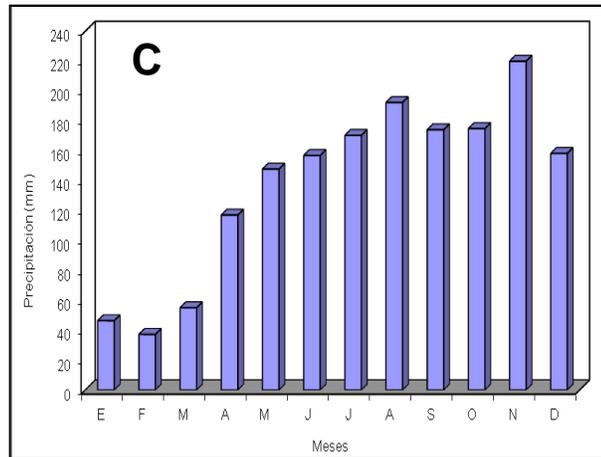
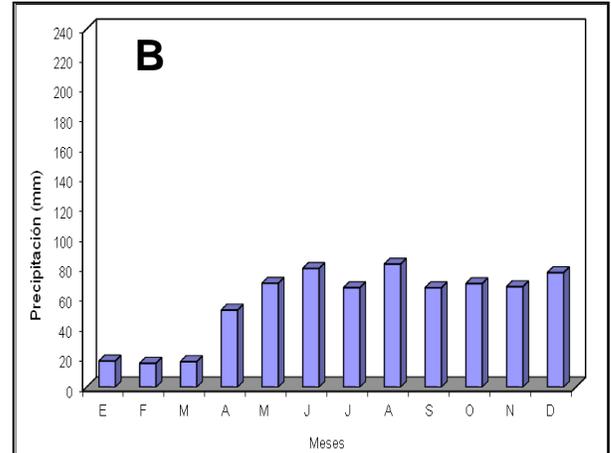
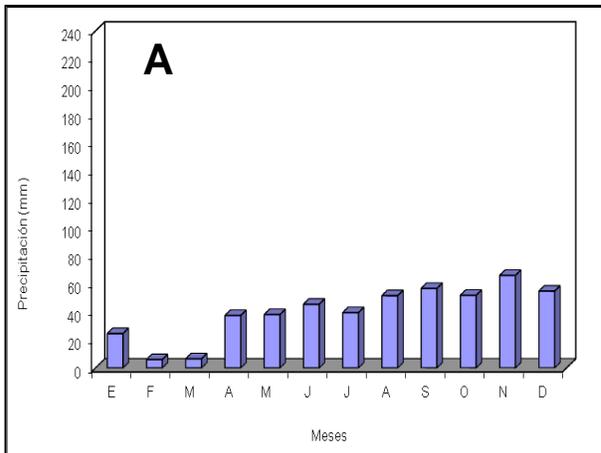


Gráfico 2. Pluviograma de la estación Puerto Cabello - Base Naval (a), Hacienda El Manglar (b) y Borburata (c) (período 1973-1990), estado Carabobo, Venezuela.

Para la estación Hacienda El Manglar (ver gráfico 2 (b)), los promedios mensuales de precipitación son de 56,7 mm y los valores mínimos de precipitación, para el primer trimestre, son montos entre 16,0 mm y 17,4 mm, valores que triplican a los montos de la estación Puerto Cabello - Base Naval para los mismos meses; por el contrario, en el mes de Abril los valores aumentan progresivamente hasta llegar a mantenerse entre un rango de 60 mm y 80 mm, es decir, presentan una distribución uniforme en los meses lluviosos a partir de Abril y hasta Diciembre. Respecto al valor máximo de precipitación, este se registró en el mes de Agosto con 82,4 mm, lo que refleja un régimen pluviométrico unimodal al igual que la estación Puerto Cabello-Base Naval.

La estación Borburata, al igual que las estaciones Hacienda el Manglar y Puerto Cabello - Base Naval, presentan los montos más bajos de precipitación entre los meses de Enero a Marzo, y a partir del mes de Abril las precipitaciones son más abundantes para las tres estaciones, en particular para la estación Borburata (ver gráfico 2 (c)), en la cual se incrementan desde 117 mm hasta llegar al mes de Noviembre donde se registran los montos máximos de precipitaciones con valores de 219,9 mm, es decir, valores sumamente altos comparados con los montos máximos de las otras estaciones, originados principalmente por la influencia de la altitud, la mayor presencia de vegetación en la zona montañosa, y la generación de lluvias de tipo orográficas.

Parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje del río Borburata y la quebrada Cachirí

El comportamiento de la red hidrológica puede verse modificado por las propiedades morfométricas de las cuencas (tamaño, forma, pendiente y extensión de la red de drenaje), relacionados principalmente con la respuesta del caudal recibido, y que pueden operar tanto para disminuir o intensificar las crecidas, debido a que actúan incrementando el volumen del flujo y la velocidad de su movimiento, y así de forma determinante generar desastres en caso de fuertes lluvias (Robinson, 2000).

Los valores calculados de los parámetros correspondientes a la variable escala de la cuenca (ver cuadro 1), evidencian dimensiones pequeñas, lo cual desde el punto de vista hidrológico puede reflejar un comportamiento caótico ante escenarios de lluvia de tipo torrencial principalmente.

Cuadro 1. Parámetros Morfométricos de la Variable Escala de la Cuenca del Río Borburata y la Quebrada Cachirí

| Nº | Parámetro | Escala de la cuenca | | Borburata | Cachirí |
|----|----------------|---------------------|-----------------|-----------|---------|
| | | Símbolo | Unidades | | |
| 1 | Área | A | Km ² | 31,68 | 7,54 |
| 2 | Perímetro | P | Km | 26,91 | 11,19 |
| 3 | Longitud | L | Km | 10,09 | 4,22 |
| 4 | Ancho promedio | a | Km | 3,13 | 1,78 |
| 5 | Ancho máximo | a _{máx} | Km | 4,70 | 2,49 |

| Escala de la cuenca | | | | | |
|---------------------|-----------|---------|----------|-----------|---------|
| Nº | Parámetro | Símbolo | Unidades | Borburata | Cachirí |
| 6 | Diámetro | D | Km | 6,35 | 3,09 |

Los valores asociados a la variable gradiente y forma del relieve de la cuenca definen al área de estudio con altitudes máximas de 1.920 msnm y 1.200 msnm (ver cuadro 2) para el río y la quebrada Cachirí respectivamente, lo que implica valores muy altos con relación al área y las longitudes que poseen las cuencas, esto por situarse en una zona perteneciente al sistema montañoso de la cordillera de la costa, y valores mínimos de altitud de 0 msnm, ya que las aguas drenan directamente al mar. Los valores del radio del relieve indican mayor presencia de topografía accidentada por cada kilómetro de recorrido en la quebrada.

Cuadro 2. Parámetros Morfométricos de la Variable Gradiente y Forma del Relieve de la Cuenca del Río Borburata y la Quebrada Cachirí

| Gradiente y Forma del Relieve | | | | | |
|-------------------------------|---|------------------|----------|-----------|---------|
| Nº | Parámetro | Símbolo | Unidades | Borburata | Cachirí |
| 7 | Altitud máxima | H | msnm | 1920 | 1200 |
| 8 | Altitud mínima | h | msnm | 0 | 13 |
| 9 | Relieve máximo | Rm | | 1880 | 1187 |
| 10 | Radio del relieve | R | | 190,3 | 281,3 |
| 11 | Relieve Relativo | Rr | | 7,1 | 25,1 |
| 12 | Pendiente media del perfil longitudinal de la corriente principal | Pcp _m | | 0,17% | 0,25 % |
| 13 | Número de rugosidad de Melton para la cuenca | Nr | | 33,4 | 102,4 |

El coeficiente de compacidad al presentar valores superiores a uno, es un indicativo de la forma irregular que presenta la cuenca, y por lo tanto, esto ocasiona mayor retraso en la concentración del escurrimiento superficial en la cuenca, por consiguiente ante la ocurrencia de posibles crecidas sus comportamientos serían menos violentos (ver cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros Morfométricos de la Variable Forma de la Cuenca del Río Borburata y la Quebrada Cachirí

| Forma de la cuenca | | | | | |
|--------------------|----------------------------|---------|----------|-----------|---------|
| Nº | Parámetro | Símbolo | Unidades | Borburata | Cachirí |
| 14 | Orientación de la cuenca | - | ° | N 10° O | N 8° E |
| 15 | Radio de elongación | Re | - | 0,62 | 0,77 |
| 16 | Factor forma | Ff | - | 0,31 | 0,42 |
| 17 | Radio de circularidad | Rc | - | 0,54 | 0,75 |
| 18 | Coefficiente de Compacidad | Kc | - | 1,33 | 1,14 |

El tipo de drenaje que presentan ambas cuencas es de tipo subdendrítico (ver cuadro 4), influenciado en gran parte por la topografía, la vegetación y algunas características geológicas presentes en el área de estudio como fallas, diaclasas y lineaciones, ya que estos influyen sobre la densidad de drenaje. Tal como lo plantea Strahler (1974), ya que una misma roca producirá menor densidad de drenaje en un clima húmedo, donde una espesa cobertura de bosques protege al material subyacente, que una región árida donde no existe esa cobertura vegetal. Por último el coeficiente de mantenimiento del canal presenta valores altos, esto sugiere que presenta una superficie promedio entre 0,23 y 0,26 km²/km de terreno por cada kilómetro de cauce

Cuadro 4. Parámetros Morfométricos de la Variable Extensión de la Red de Drenaje del Río Borburata y la Quebrada Cachirí

| Extensión de la Red de drenaje | | | | | |
|--------------------------------|---|---------|---------------------|------------|------------|
| Nº | Parámetro | Símbolo | Unidades | Borburata | Cachirí |
| 19 | Longitud de la corriente principal | Lcp | Km | 18,38 | 6,44 |
| 20 | Longitud total de las corrientes de la red de drenaje | Ltc | Km | 117,74 | 31,81 |
| 21 | Densidad de drenaje | Dd | Km/Km ² | 4,21 | 3,71 |
| 22 | Patrón o tipo de drenaje | - | - | Dendrítico | Dendrítico |
| 23 | Coefficiente de mantenimiento del canal | Cmc | Km ² /Km | 0,26 | 0,23 |

Tiempos de concentración

Los tiempos de concentración que posee la quebrada Cachirí denotan tiempos de respuesta bajos, lo cual está asociado principalmente a las parámetros de la escala de la cuenca y a la densa red de drenaje que posee, aunado con valores altos de

jerarquización y orden. A diferencia de los tiempos de concentración de la cuenca del río Borburata, los cuales son valores relativamente altos para una cuenca con características similares a la de Cachirí, aunque con dimensiones tan diferentes en sus morfologías, pueden generar tiempos de concentración altos (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Tiempos de Concentración de las Cuencas de Drenaje de la Quebrada Cachirí y del Río Borburataa Través de la Ecuación de Kirpich (1940)

| Nº | Cuenca | (h) | (min) | (seg) |
|----|---------------|------|-------|---------|
| 1 | Qda. Cachirí | 0.47 | 28.43 | 1705.74 |
| 2 | Río Borburata | 1.09 | 65.50 | 3929.73 |

Nota: Elaboración propia con datos calculados a través de la ecuación de Kirpich (1940)

Análisis de frecuencia de eventos extremos

Las estimaciones de las profundidades de las láminas máximas anuales para duraciones de 5 min hasta 24 horas, oscilan entre 8,8 mm hasta 64 mm para períodos de retorno de 2 años, mientras que para períodos de retorno de 500 y 1000 años los montos oscilan entre 35,6 mm y 263 mm para las mismas duraciones, es decir, son equivalentes a los totales anuales (ver cuadro 6).

Cuadro 6. Profundidades de Láminas Máximas Anuales de Precipitación (P) (mm) de la Estación Borburata (Serial: 0411) (estado Carabobo, Venezuela) Durante el Período 1962 – 1994, para Distintas Duraciones de la Lluvia y Distintos Períodos de Retorno.

| Año | Duración de la lluvia (T _d) (min) | | | | | | | | | | |
|------|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 180 | 360 | 540 | 720 | 1440 |
| 2 | 8.8 | 14.5 | 18.5 | 26.4 | 34.4 | 41.9 | 46.0 | 52.5 | 56.1 | 58.6 | 64.6 |
| 5 | 13.4 | 22.1 | 28.6 | 41.0 | 53.7 | 65.5 | 71.7 | 81.5 | 86.7 | 90.4 | 98.9 |
| 10 | 16.4 | 27.3 | 35.2 | 50.6 | 66.4 | 80.9 | 88.6 | 100.5 | 106.9 | 111.4 | 121.7 |
| 25 | 20.3 | 33.8 | 43.6 | 62.7 | 82.3 | 100.3 | 109.9 | 124.6 | 132.5 | 137.9 | 150.5 |
| 50 | 23.2 | 38.6 | 49.9 | 71.7 | 94.1 | 114.7 | 125.6 | 142.4 | 151.4 | 157.5 | 172.0 |
| 100 | 26.1 | 43.4 | 56.1 | 80.6 | 105.8 | 129.0 | 141.2 | 160.0 | 170.2 | 177.1 | 193.2 |
| 500 | 32.7 | 5.49 | 70.4 | 101.2 | 132.8 | 161.9 | 177.2 | 200.8 | 213.5 | 222.2 | 242.4 |
| 1000 | 35.6 | 59.2 | 76.5 | 110.1 | 144.5 | 176.1 | 192.7 | 218.4 | 23.2 | 241.6 | 263.6 |

En cuanto a las intensidades estas disminuyen a medida que aumentan las duraciones de la lluvia de 106,3mm/h hasta 2,6 mm/h para 5 min y 1440 min respectivamente, esto para un período de retorno de 2 años, y para duraciones cortas de 5 min y períodos de retorno de 1000 años presenta montos de 427,8 mm/h, y 10,9 mm/h para duraciones de 24 hora. Igualmente se pudo observar valores críticos para una duración de 1 hora con montos 94,1 mm/h y períodos de retorno de 50 años, y 105,8 mm/h para períodos de retorno de 100 años (ver cuadro 7).

Cuadro 7. Intensidades (I) Máximas Anuales de Precipitación (mm/h) de la Estación Borburata (Serial: 0411) (estado Carabobo, Venezuela) Durante el Período 1962 – 1994, para Distintas Duraciones de la Lluvia y Distintos Períodos de Retorno.

| Año | Duración de la lluvia (T _d) (min) | | | | | | | | | | |
|------|---|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 180 | 360 | 540 | 720 | 1440 |
| 2 | 106.3 | 87.0 | 74.3 | 52.8 | 34.4 | 20.9 | 15.3 | 6.2 | 6.2 | 4.8 | 2.6 |
| 5 | 160.7 | 133.1 | 114.4 | 82.0 | 53.7 | 32.7 | 23.9 | 9.6 | 9.6 | 7.5 | 4.1 |
| 10 | 197.5 | 163.8 | 141.0 | 101.2 | 66.4 | 40.4 | 29.5 | 11.8 | 11.8 | 9.2 | 5.0 |
| 25 | 244.1 | 202.7 | 174.7 | 125.5 | 82.3 | 50.1 | 36.6 | 14.7 | 14.7 | 11.4 | 6.2 |
| 50 | 278.9 | 231.7 | 199.6 | 143.5 | 94.1 | 57.3 | 41.8 | 16.8 | 16.8 | 13.1 | 7.1 |
| 100 | 313.5 | 260.4 | 224.4 | 161.3 | 105.8 | 64.5 | 47.0 | 18.9 | 18.9 | 14.7 | 8.0 |
| 500 | 393.4 | 326.9 | 281.7 | 202.5 | 132.8 | 80.9 | 59.0 | 23.7 | 23.7 | 18.5 | 10.1 |
| 1000 | 427.8 | 355.5 | 306.3 | 220.2 | 144.5 | 88.0 | 64.2 | 25.8 | 25.8 | 20.1 | 10.9 |

Para analizar el diseño y construcción de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y Profundidad – Duración – Frecuencia (PDF) (ver gráficos 3 y 4), se necesitó conocer el comportamiento de las precipitaciones en función de la duración y su frecuencia. Es importante destacar que se utilizaron solo los datos de la estación Borburata para obtener los patrones de comportamiento de las lluvias, y estimar las inundaciones en las cuencas de drenaje que tienen tiempos de concentración cortos.

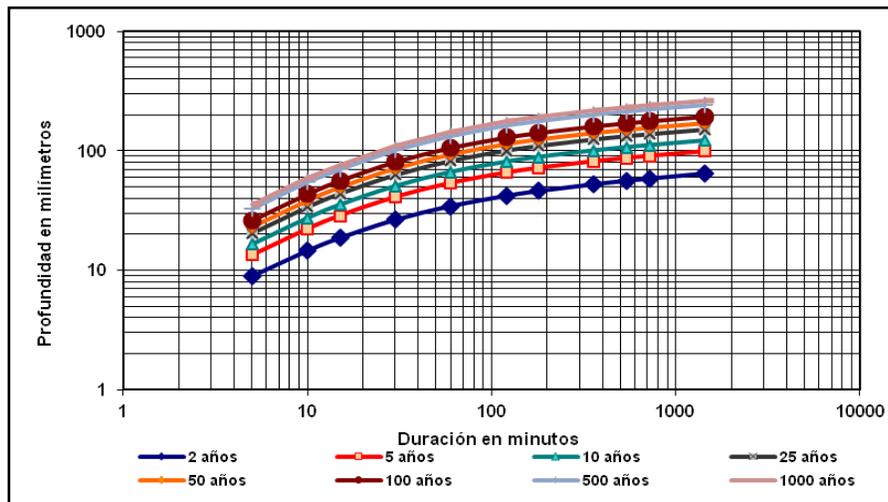


Gráfico 3. Curvas de Profundidad - Duración - Frecuencia (PDF) para láminas máximas anuales de precipitación (período 1962-1994) de la estación Borburata, estado Carabobo, Venezuela.

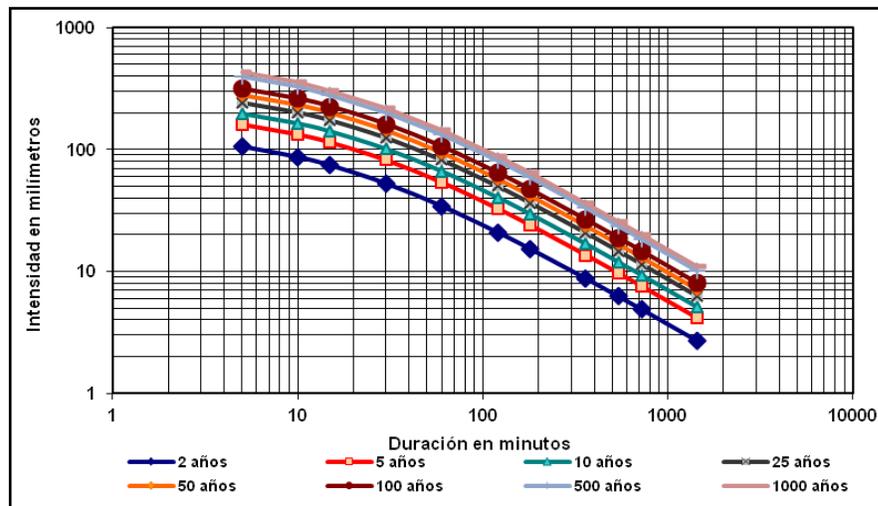


Gráfico 4. Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para láminas máximas anuales de precipitación (período 1962-1994) de la estación Borburata, estado Carabobo, Venezuela.

Respecto a las variables hidrológicas en estudio, se sabe que las series de caudales y precipitaciones máximas no se ajustan a distribuciones normales, por lo tanto fue necesario utilizar distribuciones extremas, como la función de Gumbel (Mintegui y López, 1990).

En este sentido, es importante señalar que para la estimación de la intensidad de las precipitaciones a diferentes duraciones y períodos de retorno, fue necesario utilizar la distribución Gumbel. Esto principalmente porque es la distribución que mejor describe la variación de una serie anual de máxima intensidad de precipitación, como lo confirman estudios de este tipo en la India (Verna, 1988, c.p. Kothyari y Garde, 1992) y que para el caso de Borburata se ajustaron muy bien.

La estimación de los caudales pico de crecientes de la cuenca del río Borburata, de la cuenca de la quebrada Cachirí y la confluencia de ambos cursos en la llanura aluvial (ver cuadro 8), se realizó con el software HEC-HMS. Los resultados obtenidos muestran para el río Borburata caudales de 5,02 m³/s para un período de retorno de 2 años mientras que para 1000 años el caudal es 792,72m³/s. La cuenca de la quebrada Cachirí evidencia montos más bajos entre 1,53 m³/s y 314 m³/s para períodos de retorno de 2 y 1000 años, esto principalmente por presentar dimensiones más pequeñas; en cuanto a la confluencia de ambos cursos, se presentan montos de caudales mayores, debido a que en ella se unen los aportes del río Borburata y de la quebrada Cachirí (ver gráfico 5). Los valores pico de la quebrada Cachirí son valores altos, con montos de 139,81 m³/s para un período de retorno de 50 años, si se compara por ejemplo con la quebrada Curucuti, la cual presenta dimensiones de área parecidas y un caudal de 85,65 m³/s para el mismo período de retorno (Méndez, Córdova, Cartaya, y Pacheco, 2007).

Cuadro 8. Caudales Pico de Crecientes para Distintos Períodos de Retorno para la Cuenca de Drenaje del Río Borburata, la Quebrada Cachirí y la Confluencia.

| Períodos de retorno(años) | Caudales (m ³ /s) | | |
|------------------------------|------------------------------|---------|-------------|
| | Borburata | Cachiri | Confluencia |
| 2 | 5,02 | 1,5 | 6,2 |
| 5 | 69,6 | 26,3 | 83,1 |
| 10 | 146,2 | 57,5 | 174,1 |
| 25 | 259,6 | 103,1 | 308,9 |
| 50 | 351,6 | 139,8 | 418,3 |
| 100 | 449,6 | 178,8 | 534,5 |
| 500 | 595,3 | 275,9 | 826,1 |
| 1000 | 792,7 | 314,4 | 941,8 |

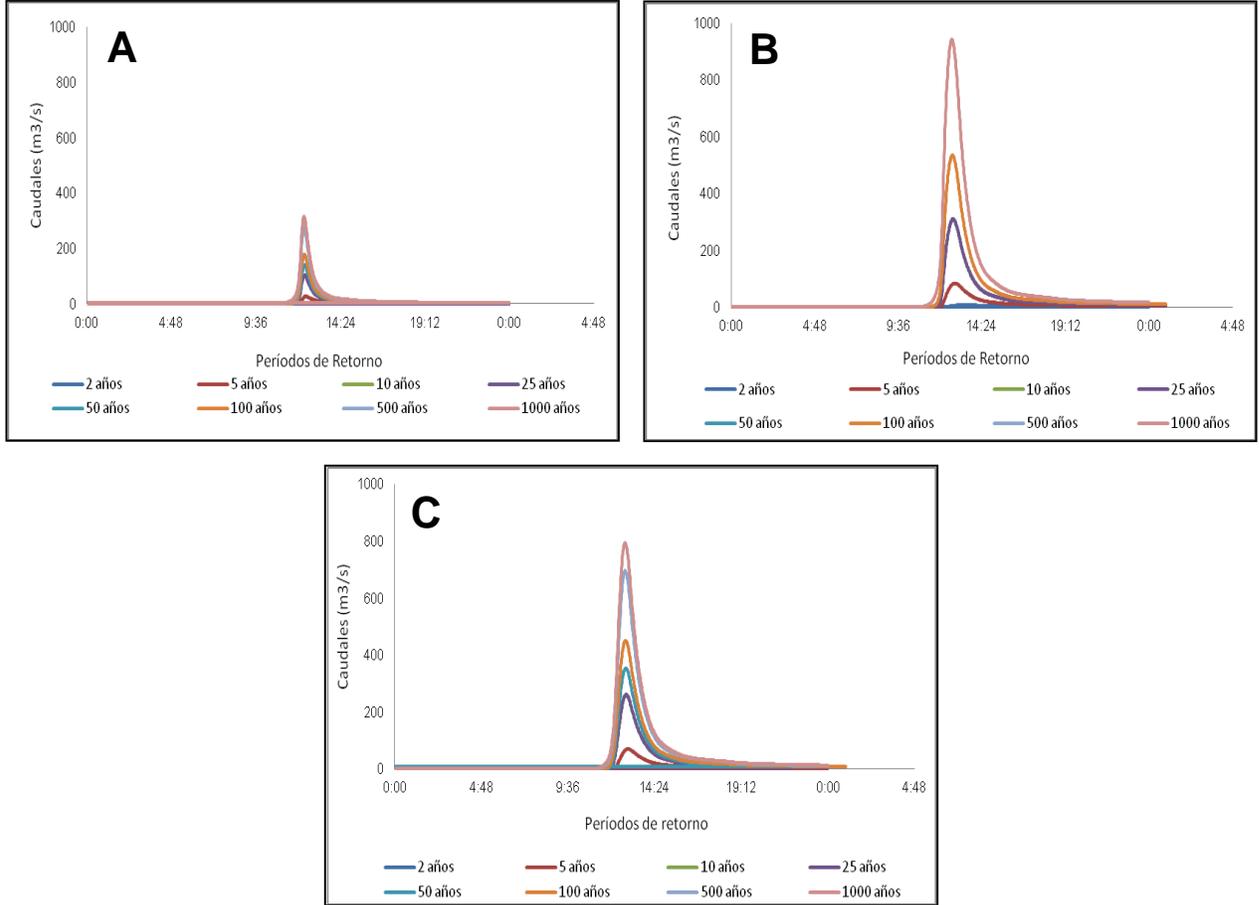


Gráfico 5. Caudales pico de crecientes de la cuenca de drenaje de la quebrada Cachirí (A), río Borburata (B) y la confluencia (C).

Zonificación de la amenaza por inundaciones en la planicie aluvial terminal del río Borburata

Los resultados obtenidos se muestran en un MEDT allí se evidencian las manchas de inundación para los diferentes períodos de retorno: 5, 10, 25, 50, 100, 500 y 1000 años (ver gráfico 6).

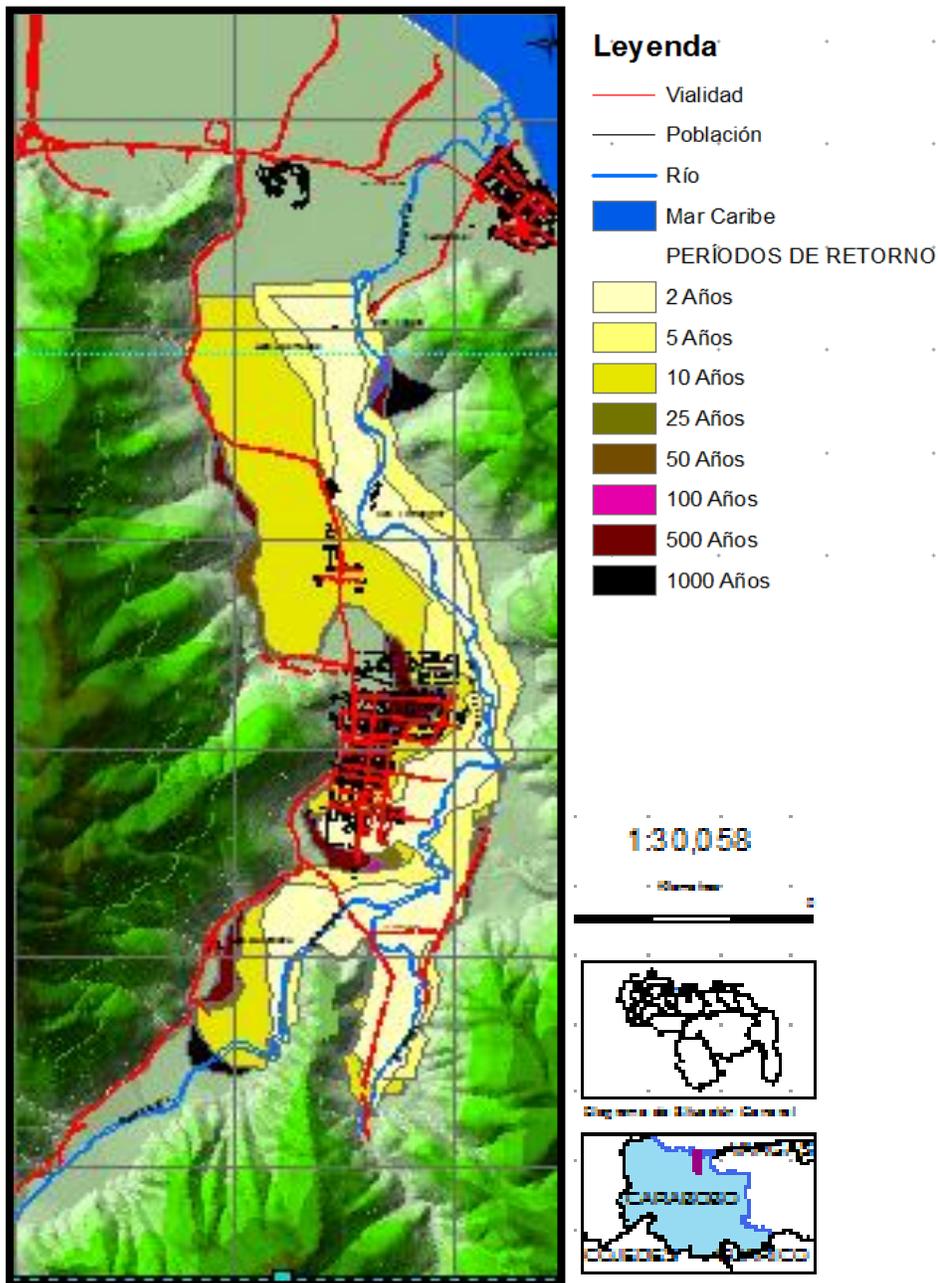


Gráfico 6. Mapa de zonificación de la amenaza por inundaciones en la planicie aluvial del río Borburata y la quebrada Cachirí.

La mancha de inundación para un período de retorno de 2 años evidencia las características que presenta la cuenca desde el punto de vista de su morfología y la red de drenaje, debido a que con períodos de retorno tan cortos son capaces de inundar El Rincón, un sector habitado del pueblo de Borburata, ubicado en la desembocadura de la quebrada Cachirí sobre el río Borburata (ver gráfico 7). La parte baja de la llanura

aluvial en las haciendas El Manglar, la Las Rosas y Evoica, también se ven afectadas por las inundaciones.

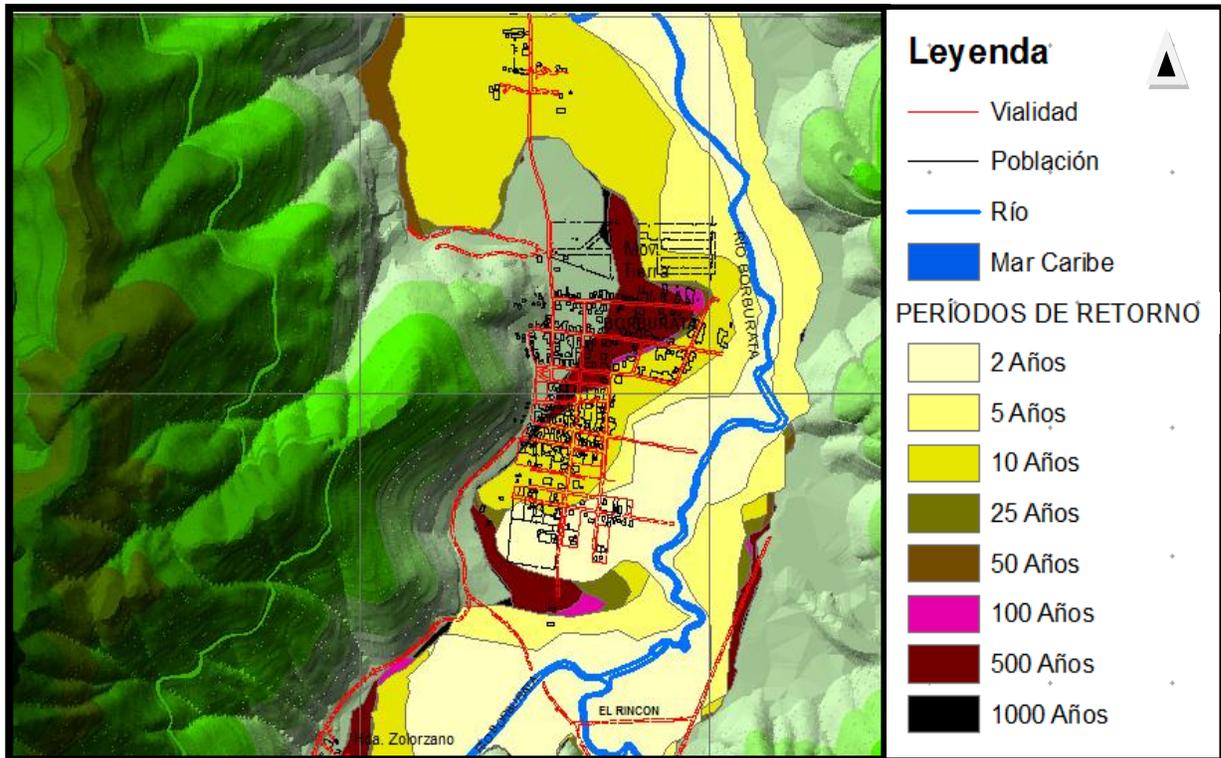


Gráfico 7. Mapa de zonificación de la amenaza por inundaciones en la planicie aluvial del río Borburata y la quebrada Cachirí.

Para períodos de retorno de 5 años el comportamiento de las inundaciones es muy similar, sin embargo, abarca mucho más extensiones en particular en áreas pobladas del pueblo de Borburata y zonas más al norte de la hacienda El Manglar en dirección a la carretera, donde también se encuentran algunas viviendas dispersas a lo largo de la vía. En cuanto a períodos de retorno de 10 años las zonas afectadas comprenden las mismas de 2 y 5 años, pero se les incorpora mayor área de afectación en las viviendas ubicadas al borde de la carretera en dirección al pueblo de Borburata, debido a una mayor profundidad de la lámina de agua de la inundación. En estos sectores ocurren impactos sobre la población y las viviendas, pero también sobre los cultivos que se realizan en las áreas aledañas a la carretera.

Las inundaciones que se producen con períodos de retorno de 25, 50, y 100 años no presentan grandes diferencias en comparación con los períodos de retorno analizados anteriormente, sólo un ligero incremento en las áreas ya afectadas del pueblo, como en sus alrededores. Los períodos de retorno de 500 y 1000 años generan mayor impacto sobre la localidad de Borburata. Los eventos de inundaciones correspondientes a los períodos de retorno mayores (50,100,500 y 1000 años), aun cuando ocupan superficies similares a los de mayor frecuencia, representan una mayor amenaza para la localidad de Borburata, ya que como eventos hidrológicos producidos por caudales pico de crecientes elevados, implican láminas de agua de profundidades significativas. Las áreas que no resultaron afectadas por las inundaciones en los distintos períodos de retorno se encuentran ubicadas al inicio de dicha población y en zonas cercanas al monumento de San Juan frente a la plaza de Borburata.

Por ello, la elaboración de mapas de zonificación de la amenaza por inundaciones, adquiere una importancia notoria en cuanto a reducción de posibles pérdidas económicas y humanas por la ocurrencia de eventos extremos de precipitaciones, que se traducen en inundaciones en las planicies aluviales.

CONCLUSIONES

Los montos totales anuales de precipitación reflejan oscilaciones entre 478,4 y 1649,6 mm, los cuales se ven influenciados por las diferencias altitudinal, entre la línea de costa y el relieve montañoso. En cuanto a las precipitaciones mensuales la cuenca del río Borburata recibe los mayores montos entre los meses de Abril y Diciembre mientras que en los meses de Enero a Marzo se presentan los montos más bajos, éste comportamiento de las precipitaciones se aprecia en las tres estaciones estudiadas, sin embargo, cada estación difiere en sus promedios mensuales. La estación Puerto Cabello - Base Naval presenta los montos más bajos, ello por encontrarse ubicada cercana a la línea de costa, mientras que la estación Hacienda El Mangar presenta montos más elevados, y por último la estación Borburata presenta los montos más

altos, esto principalmente por su ubicación espacial. Con relación a la distribución temporal de las lluvias éstas presentan regímenes unimodales.

La morfometría de la cuenca del río Borburata y la quebrada Cachiri muestran un comportamiento algo complejo donde a pesar de tener algunas diferencias en cuanto a sus dimensiones, presentan una misma respuesta en la llanura aluvial, que se ve influenciada de manera particular por los parámetros relacionados con la variable escala de cuenca.

Aunado a lo anteriormente mencionado la presencia de redes de drenaje densas, valores de orden 4 para ambas cuencas, coeficiente de mantenimiento del canal altos y tiempos de concentración bajos, principalmente para Cachirí, establecen condiciones morfodinámicas que pueden generar ante, la presencia de lluvias de carácter torrencial, escenarios de crecidas y como consecuencia inundaciones en la llanura aluvial.

Profundidades de las láminas máximas anuales para duraciones de 5 min hasta 24 horas oscilan entre 8,8 mm hasta 64 mm para períodos de retorno de 2 años, mientras que para períodos de retorno de 500 y 1000 años los montos oscilan entre 35,6 mm y 263 mm; en el caso de las intensidades estas disminuyen a medida que aumentan las duraciones de la lluvia, los valores críticos se presentan para duraciones de 1 hora con montos 94,1 mm/h y 105,8 mm/h para períodos de retorno de 50 y 1000 años.

Los caudales pico estimados para diferentes períodos de retorno para la cuenca del río Borburata oscilan entre 5,02 m³/s y 792,7 m³/s; para la quebrada Cachirí entre 1,5m³/s y 314,4 m³/s; y para la confluencia muestran valores de 6,2 m³/s y 941,8 m³/s, todos ellos para períodos de retorno entre 2 y 1000 años, valores estos elevados para cuencas tan pequeñas, lo que trae como consecuencia la movilización de grandes volúmenes agua hacia la llanura aluvial.

Las inundaciones en el pueblo de Borburata son eventos recurrentes, las cuales han generado una gran cantidad de pérdidas materiales, afectando a un gran número

de personas de esta localidad. Luego de los cálculos realizados en el siguiente estudio, se evidenciaron las áreas de esta localidad que se ven influenciadas por la generación de inundaciones ante eventos de precipitaciones extraordinarias, y ante la ocurrencia de caudales pico para diferentes períodos de retorno, ello debido a múltiples factores externos como las precipitaciones, y factores internos como la morfometría (forma de la cuenca, densidad de la red drenaje, fuertes pendientes entre otros factores), los cuales son principales condicionantes de las inundaciones. Aunado a lo anterior, la localización de la población en la planicie aluvial y en zonas adyacentes al río Borburata y a la quebrada Cachirí, permiten la generación de escenarios críticos por inundaciones.

El mapa de zonificación muestra aquellas áreas más propensas a ser afectadas por las inundaciones y sus períodos de retorno, de igual manera se evidencian las afectaciones que pueden generar los eventos de 2 hasta 10 años de retorno, donde gran parte de la población se ve afectada. Las características que presenta la cuenca aunadas a eventos de lluvias, y en particular la ubicación de la población en gran parte de la llanura de inundación, son elementos que se conjugan para tener una dinámica en la cual la población es impactada por escenarios de inundaciones.

REFERENCIAS

- Andressen, R. y Pulwarty, R. (2001). Análisis de las lluvias excepcionales causantes de la tragedia del estado Vargas, Venezuela, en Diciembre de 1999. En *Taller sobre Cambios Climáticos, Recursos Hídricos, Geo-Riesgos y Desastres Naturales: IV Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable* (3-148 – 3-167). Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes
- Beguería, S., y Lorente, A. (1999). [Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el pirineo aragonés occidental]. *Revista en Línea. Geographicalia*, 37, 00-00. Disponible <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=59891>. [Consulta: 2009, Noviembre 15]
- Chow, V., Maidment, D., May, L. (1994). *Manual de Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia
- Guevara, J. (1987). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos* (Colección Monografías, 12). Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico
- Guevara, E., Guevara, J. y García, E., (2008). Análisis del patrón de distribución espacial de las lluvias en la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Ingeniería UC*, (15), 2 41-51

- Kothyari, C. y Garde, J. (1992). Rainfall Intensity-Duration-Frequency. *Journal of Hydraulic Engineering*. 118, N°2.323 – 336
- Méndez, W.; Córdova, J., Cartaya, S. y Pacheco, J. (2007). Geomorfología y respuesta hidrológica de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, Estado Vargas, Venezuela. *Revista Facultad Ingeniera*. 22(1),5-20.
- Mintegui, J., y López, F. (1990). *La ordenación Agrohídrológica en la Planificación. España. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria – Gasteiz*. 306
- Robinson, M. (2000). Geomorfología del sector ibérico valenciado entre los ríos Mijares y Tina. Departamento de Geografía, Universidad de Valencia, España. 217 p
- Strahler, A. (1974). Geografía física. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 765 pp.