

TRAYECTORIA Y RELACIÓN LLUVIA- ESCURRIMIENTO CAUSADOS POR EL HURACÁN PAULINA EN LA CUENCA DEL RÍO LA SABANA, GUERRERO, MÉXICO

PATH AND RELATION RAIN-RUNOFF CAUSED BY HURRICANE PAULINE IN THE SABANA RIVER, GUERRERO, MÉXICO

Isidro Villegas-Romero^{1*}, J. Luis Oropeza-Mota²,
Mario Martínez-Ménes², Enrique Mejía-Sáenz²

¹Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. 56230. Chapingo, Estado de México (isidrovr@colpos.mx). ²Hidrociencias. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.

RESUMEN

El huracán Paulina, ocurrido entre el 5 y el 10 de octubre de 1997, fue un meteoro de alto impacto ecológico por las inundaciones, erosión hídrica, movimientos en masa y la cantidad de sedimentos que generó en las cuencas hidrográficas de los estados de Guerrero y Oaxaca, causando pérdidas de vidas humanas y materiales cuya reconstrucción parcial costó \$ 447.8 mdd. Por ello resulta interesante analizar los factores que contribuyeron al impacto ecológico, económico y social en la cuenca hidrográfica. Así, esta investigación tuvo como objetivo ubicar la trayectoria del huracán Paulina y establecer su relación con la distribución de la precipitación en el estado de Guerrero y en la cuenca hidrográfica del río La Sabana, así como estimar la relación entre la precipitación y el escurrimiento generados por el meteoro. Se usaron herramientas de análisis espacial como el programa ArcView 3.2, con el cual se trazó la trayectoria seguida por el meteoro, se estimó la distribución espacial y temporal de la lluvia en todo el estado y en la cuenca durante su paso, la cual se correlacionó con los datos de escurrimiento diario registrados en dos estaciones de aforo. Los resultados indican que el huracán Paulina generó lluvias en todo el estado de Guerrero durante dos días continuos y a nivel de cuenca produjo 2.4 veces la lámina media de precipitación del mes de octubre, generando el escurrimiento de 133 971 269 m³ en el desfogue principal de la cuenca, equivalentes a 114 veces el escurrimiento promedio del mismo mes.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, escurrimiento, huracán, impacto, lluvia, trayectoria.

INTRODUCCIÓN

México es un país altamente beneficiado por las lluvias generadas por ciclones tropicales (CT) formados tanto en el Océano Atlántico

ABSTRACT

Hurricane Pauline, which occurred between October 5 and 10 of 1997, was an event of high ecological impact due to the flooding, hydric erosion, mass movement and the amount of sediments that it generated in the hydrographic basins of the states of Guerrero and Oaxaca, causing loss of human life and material damage, with partial reconstruction costing \$ 447.8 mdd. It is therefore interesting to analyze the factors that contributed to the ecological, economic and social impact on the hydrographic basin. The objective of the present investigation was to trace the path of hurricane Pauline and to establish its relationship with the distribution of rainfall in the state of Guerrero and in the hydrographic basin of the Sabana River, as well as to estimate the relationship between the rainfall and runoff generated by the storm. Tools of spatial analysis were applied such as the program ArcView 3.2, by means of which the path of the hurricane was traced, an estimation was made of the spatial and temporal distribution of the rainfall throughout the state and in the basin during its occurrence, which was correlated to the data of daily runoff registered in two monitoring stations. Results indicate that hurricane Pauline generated rainfall throughout the state of Guerrero during two days continuously, and at the basin level, it produced 2.4 times the mean level of rainfall of the month of October, generating runoff of 133 971 269 m³ in the principal discharge point of the basin, equivalent to 114 times the average runoff of the same month.

Key words: Hydrographic basin, runoff, hurricane, impact, rainfall, path.

INTRODUCTION

México is a country that is greatly benefitted by the rains generated by tropical storms (TS) formed both in the Atlantic and Pacific Oceans, but their impact in the last ten years has been catastrophic in different coastal regions of the country, which according to Hernández *et al.* (2001), is due to

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Marzo, 2008. Aprobado: Octubre, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 43: 345-356. 2009.

como en el Pacífico, pero su impacto en los últimos diez años ha sido catastrófico en diferentes regiones costeras del país, lo cual se debe, según Hernández *et al.* (2001), a la expansión demográfica, pero también se puede atribuir al uso y manejo inadecuado del suelo y la cobertura vegetal en las cuencas hidrográficas.

De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, 1998), el Estado de Guerrero ha sido impactado por 20 CT de alta intensidad durante el período de 1949 a 1997; asimismo, Matías (1998) reporta un total de 15 meteoros ocurridos entre 1989 y 1997, que impactaron o se acercaron a menos de 180 km del puerto de Acapulco, generando intensas lluvias, inundaciones y movimientos en masa.

El huracán Paulina se registró del 5 al 10 de octubre de 1997 y se considera el segundo de mayor impacto en el estado de Guerrero (Lugo e Inbar, 2002) después de Madeline, ocurrido entre septiembre y octubre de 1974, y el segundo huracán más destructivo en la historia de México, después de Gilbert registrado en septiembre de 1988, en la costa del Atlántico. Villegas *et al.*, (2004), considerando la cuenca hidrográfica como unidad de impacto de CT, reportaron que la tormenta tropical Irwin, ocurrida el 28 de agosto de 1981, fue el meteoro de mayor impacto hidrológico en la cuenca del río La Sabana.

El impacto económico, ecológico y social de los huracanes tiene relación directa con su intensidad y estructura física, la cual puede llegar a una altura promedio de 8 a 10 km, diámetro de 500 km a partir del centro de giro (Rosengaus, 1998) y velocidad sostenida de los vientos que varía de 65 a 250 km h⁻¹ según su intensidad (FEMA, 2000). En cuanto a la precipitación, en general se establece que no existe una relación directa con la intensidad, pero se acepta que es significativamente mayor en una distancia de 25 km al ruedo del centro de giro (Rosengaus, 1998) siendo aún más intensa en el cuadrante delantero derecho (Tortós, 2002).

De acuerdo con lo anterior, el impacto económico y ecológico de los CT en tierras continentales origina numerosos daños causados por el viento y la lluvia, principalmente, al causar movimientos en masa, erosión en cárcavas e inundaciones en las partes bajas de la cuenca (CEPAL, 1998).

Castro (1998) reportó que el huracán Paulina, al impactarse en la zona costera entre Huatulco y Puerto Ángel, se elevaba como un cilindro de 1 km de altura con radio de 55 km en todas direcciones, vientos de 194 km h⁻¹ y rachas de hasta 250 km h⁻¹. Lugo e Inbar (2002) reportan que la precipitación en general fue alta a lo largo de la trayectoria, variando de 231.1 mm registrados en Juchitán, Oaxaca, a 302.2 mm en Las

demographic expansion, but it can also be attributed to the inadequate use and management of the soil and plant cover in the hydrographic basins.

According to the Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, 1998), the state of Guerrero has been impacted by 20 TS of high intensity during the period of 1949 to 1997; in addition, Matías (1998) reports a total of 15 hurricanes occurring between 1989 and 1997, which impacted or came within 180 km of the port of Acapulco, generating intense rainfall, floods and mass movement.

Hurricane Pauline was registered from October 5 to 10 of 1997 and is considered to be of the second highest impact in the state of Guerrero (Lugo and Inbar, 2002) after Madeline, which occurred between September and October of 1974. Furthermore, it was the second most destructive hurricane in the history of México, after Gilbert, registered in September of 1988, on the Atlantic coast. Villegas *et al.* (2004), considering the hydrographic basin as unit of impact of TS, reported that tropical storm Irwin, occurring on August 28 of 1981, was the storm of highest hydrological impact on the Sabana River basin.

The economic, ecological and social impact of hurricanes has a direct relationship to their intensity and physical structure, which can reach an average height of 8 to 10 km, diameter of 500 km from the center of rotation (Rosengaus, 1998) and wind velocity that ranges from 65 to 250 km h⁻¹ according to their intensity (FEMA, 2000). With respect to rainfall, in general it is established that it has no direct relationship with intensity, but it is accepted that it is significantly higher at a distance of 25 km around the center of rotation (Rosengaus, 1998), and even more intense in the right front quadrant (Tortós, 2002).

According to the above, the economic and ecological impact of the TS on continental lands provokes numerous damages caused by the wind and the rain, principally by causing mass movement, erosion in ravines and flooding in the low areas of the basin (CEPAL, 1998).

Castro (1998) reported that hurricane Pauline, when making impact on the coastal zone between Huatulco and Puerto Ángel, rose as a cylinder of 1 km height with a radius of 55 km in all directions, winds of 194 km h⁻¹ and gusts of up to 250 km h⁻¹. Lugo and Inbar (2002) report that the precipitation in general was high all along its path, varying from 231.1 mm recorded in Juchitán, Oaxaca, to 302.2 mm in Las Vigas and 321 mm in Cruz Grande, state of Guerrero, with the highest precipitation in Acapulco, with 411.5 mm.

The impact in terms of damages caused in the states of Oaxaca and Guerrero was reported by Castro (1998) in Guerrero, and specifically in the municipality of

Vigas y 321 mm en Cruz Grande, estado de Guerrero registrándose la mayor precipitación en Acapulco con 411.5 mm.

El impacto en términos de daños causados en el Estado de Oaxaca y Guerrero fue reportado por Castro (1998) en el estado de Guerrero, y específicamente para el municipio de Acapulco, Bitrán (2002) cuantificó los daños materiales en 447 millones de dólares.

El huracán Paulina ha sido descrito en términos económicos y sociales (Bitrán, 2002). También se ha establecido su trayectoria durante el período de ocurrencia (Matías, 1998), y se han publicado datos muy puntuales de precipitación (Lugo e Inbar, 2002). Pero no se ha intentado el análisis de su impacto hidrológico en las cuencas hidrográficas por las cuales realizó su recorrido, lo que permitiría planificar acciones de control y mitigación de futuros eventos. Por ello, el presente trabajo se planteó como objetivos: Establecer la trayectoria seguida por el meteoro y su relación con la precipitación en el estado de Guerrero, estimar la distribución espacial y temporal de la precipitación captada por la cuenca del río La Sabana y su relación con el gasto medio diario registrado en dos estaciones de aforo. Las hipótesis fueron:

- 1) La precipitación generada por el huracán Paulina en el estado de Guerrero y en la cuenca del río La Sabana, se distribuyó espacial y temporalmente con una relación inversamente proporcional respecto a la distancia del centro de giro del meteoro.
- 2) La precipitación generada por el huracán Paulina en la cuenca del río La Sabana generó el gasto medio diario más alto de 1988 a 1999.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para lograr los objetivos se usó el programa de análisis espacial ArcView 3.2, para la ubicación y caracterización hidrológica de la cuenca, se trazó la trayectoria seguida por el meteoro en el estado de Guerrero, se estimó la distribución espacial de la lluvia en todo el estado y en la cuenca, y se analizó la relación lluvia-escorrentamiento.

Ubicación y caracterización hidrológica de la cuenca del río La Sabana

La ubicación y delimitación de la cuenca del río La Sabana se hizo mediante la carta topográfica de Xaltiangui y Acapulco, escala 1:50,000, editada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1984; INEGI, 2002), por medio de la cual se calcularon las coordenadas extremas, el parte-aguas de la cuenca, la red hidrográfica y el área parcial correspondiente a las estaciones de aforo Kilómetro 21 y Tuncingo.

Acapulco. Bitrán (2002) quantified the material damages at 447 million dollars.

Hurricane Pauline has been described in economic and social terms (Bitrán, 2002). Its path has also been established during the period of occurrence (Matías, 1998), and highly punctual data of precipitation has been published (Lugo and Inbar, 2002). But no attempt has been made to analyze its hydrological impact on the hydrographic basins through which it passed, which would make it possible to plan actions of control and mitigation of future events. Therefore, the objectives of the present study were as follows: To establish the path followed by the hurricane and its relationship with rainfall in the state of Guerrero, to estimate the spatial and temporal distribution of the rainfall captured by the Sabana River basin and its relation with the mean daily flow recorded in two monitoring stations. The hypotheses were:

- 1) The rainfall generated by hurricane Pauline in the state of Guerrero and the Sabana River basin, was spatially and temporally distributed with a relation that was inversely proportional with respect to the distance from the rotation center of the hurricane.
- 2) The rainfall generated by hurricane Pauline in the Sabana River basin generated the highest mean daily flow from 1988 to 1999.

MATERIALS AND METHODS

To achieve the objectives, the ArcView 3.2 spatial analysis program was used for the location and hydrological characterization of the basin, the hurricane's path in the state of Guerrero was traced, a determination was made of the spatial distribution of the rainfall throughout the state and in the basin, and an analysis was made of the relation rain-runoff.

Location and hydrological characterization of the Sabana River basin

The location and delimitation of the Sabana River basin was made with the topographic chart of Xaltiangui and Acapulco, scale 1:50,000, published by the Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1984; INEGI, 2002), with which were calculated the end coordinates, the watershed of the basin, the hydrographic network and the partial area corresponding to the monitoring stations Kilómetro 21 and Tuncingo.

Path of hurricane Pauline

The path followed by the rotation center of the hurricane, along the coastal zone of the state of Guerrero, was traced with the data of geographical location monitoring, obtained (via Internet) from the National Hurricane Center (NHC), pertaining to the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Table 2.

Trazo de la trayectoria del huracán Paulina.

La trayectoria seguida por el centro de giro del huracán, a lo largo de la zona costera del estado de Guerrero, se trazó con los datos de ubicación geográfica del monitoreo, obtenidos (vía Internet) del Centro Nacional de Huracanes (NHC, por sus siglas en inglés) dependiente de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Cuadro 1.

Con las coordenadas geográficas, y mediante el programa ArcView 3.2, fue posible trazar la trayectoria real del huracán y medir diferentes distancias del centro de giro al centro de la cuenca La Sabana. El mapa del Estado de Guerrero usado se extrajo de la base de datos del programa ArcView, sobre el cual se desplegó el mapa base de la cuenca.

Distribución espacial y temporal de la precipitación

Del programa ERIC 2 (Extractor Rápido de Información Climática, 2) (IMTA 1999), se obtuvieron los datos de precipitación diaria registrados en 150 estaciones meteorológicas del 5 al 10 de octubre de 1997, de las cuales, sólo 21 d registraron lámina de precipitación alta el día 8 y se consideraron en este análisis.

With the geographical coordinates, and by means of the program Arc View 3.2, it was possible to trace the real path of the hurricane and to measure different distances of the center of rotation to the center of the Sabana basin. The map of the state of Guerrero used was extracted from the data base of the ArcView program, over which the base map of the basin was extended.

Spatial and temporal distribution of rainfall

From the program ERIC 2 (Rapid Climatic Information Extractor, 2) (IMTA, 1999), the data of daily rainfall were obtained registered in 150 meteorological stations from of October 5 to 10 of 1997, of which only 21 d registered high precipitation depth on October 8 and were considered in this analysis.

With the data of geographical coordinates and the precipitation recorded in each station, the map of isohyets was made by means of the program Arc View 3.2.

The daily isohyets were constructed using the module SURFAGE and the function CONTOUR to generate lines with the same value of precipitation. Later, the model ANALYSIS was used along with the function ASING PROXIMITY, by means of which the lines with equal precipitation are converted into polygons. With the module ANALYSIS and the function TABULATE AREAS, the area covered

Cuadro 1. Puntos de monitoreo de la trayectoria y distancia recorrida por el huracán Paulina, del 5 al 10 de octubre de 1997.

Table 1. Monitoring points of the path and distance of hurricane Pauline, from October 5 to 10 of 1997.

Aviso	Latitud (°)	Longitud (°)	Fecha	Velocidad (km h ⁻¹)	Presión (atm)	Categoría	Hora	Dist. 1. (km)	Dist. 2. (km)
1	12.2	96.6	5	40.23	0.04	D T	12	0	
2	12.1	96.0	5	40.23	0.04	D T	18	65.61	65.61
3	12	95.5	6	48.28	0.05	D T	0	58.31	123.92
4	11.9	95.0	6	56.33	0.06	D T	6	59.81	183.73
5	11.9	94.5	6	72.42	0.07	D T	12	55.93	239.66
6	12.2	94.2	6	88.51	0.09	D T	18	47.26	286.92
7	12.5	94.1	7	112.65	0.11	H 1	0	37.1	324.02
8	12.9	94.2	7	160.93	0.16	H 3	6	45.99	370.01
9	13.2	94.5	7	185.07	0.18	H 4	12	46.4	416.41
10	13.5	94.9	7	177.03	0.17	H 3	18	55.94	472.35
11	13.8	95.3	8	160.93	0.16	H 3	0	52.28	524.63
12	14.2	95.6	8	160.93	0.16	H 3	6	59.2	583.83
13	14.6	95.9	8	177.03	0.17	H 3	12	53.14	636.97
14	15.3	96.3	8	185.07	0.18	H 4	18	90.36	727.33
15	16	97.6	9	152.89	0.15	H 2	0	163.89	891.22
16	16.7	99.0	9	112.65	0.11	H 1	6	170.05	1061.27
17	17.3	100.4	9	96.56	0.1	T T	12	167.74	1229.01
18	17.9	101.4	9	80.47	0.08	T T	18	127.47	1356.48
19	18.6	102.0	10	64.37	0.06	T T	0	103.95	1460.43
20	19.2	102.6	10	48.28	0.05	D T	6	92.85	1553.28

Dist. 1 = Distancia del centro de giro al centro de la cuenca del río La Sabana ♦ Distance from the center of rotation to the center of the Sabana River basin.

Dist. 2 = Distancia total recorrida por el centro de giro, entre sitios de monitoreo ♦ Total distance covered by the center of rotation, between monitoring sites.

H; huracán; 1, 2, 3, 4, categorías alcanzadas por el meteoro, de acuerdo al sistema de clasificación de Zaffir Simpson ♦ hurricane; 1, 2, 3, 4, categories reached by the hurricane, according to the classification system of Zaffir Simpson.

DT: Depresión tropical ♦ Tropical depression.

TT: Tormenta tropical ♦ Tropical storm.

Con los datos de coordenadas geográficas y la precipitación registrada en cada estación, se elaboró el mapa de isoyetas por medio del programa ArcView 3.2.

Las isoyetas diarias se construyeron usando el módulo SURFASE y la función CONTOUR para generar líneas con el mismo valor de precipitación. Luego se utilizó el módulo ANALYSIS y la función ASSING PROXIMITY, por medio de la cual las líneas con igual precipitación se convierten en polígonos. Con el módulo ANALYSIS y la función TABULATE AREAS, se obtuvo el área que cubre cada valor de precipitación. El cuadro generado se exportó como archivo dBASE para ser analizado como cuadro de Excel, y con operaciones simples se obtuvo la lámina de precipitación (PP), en mm, m y volumen.

Estimación de la relación precipitación-escorrimento

La relación entre precipitación y escurrimento se estimó considerando la cuenca del río La Sabana y se obtuvo por medio de la tabulación, análisis gráfico y análisis de regresión lineal simple entre las variables hidrológicas, utilizando los resultados de volumen de precipitación y datos de gasto medio diario reportado en las estaciones de aforo Kilómetro 21 y Tuncingo, para los días del 7 al 10 de octubre de 1997. Así mismo, para fines de comparación, se analizó el gasto medio de 12 años de registro y datos de precipitación registrados para el mes de octubre durante un periodo de 10 años.

El volumen de precipitación diaria aportada por el meteoro se estimó a partir de la lámina reportada en las tres estaciones meteorológicas más cercanas a la cuenca, durante los días 7 a 10 de octubre de 1997.

Con el volumen de precipitación y el de escurrimento de la estación de aforo Kilómetro 21, se estimó el coeficiente de escurrimento diario, con el cual fue posible estimar el volumen de desfogue correspondiente al área de captación de Tuncingo y de toda la cuenca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización hidrológica de la cuenca

Como primer resultado se presenta la localización geográfica de la cuenca, la caracterización del relieve y los parámetros morfométricos más importantes relacionados con la respuesta hidrológica ante eventos de lluvia extremos, como el huracán Paulina.

Ubicación geográfica

La cuenca hidrográfica del río La Sabana se localiza en la parte sur del estado de Guerrero, en el municipio de Acapulco y en la Región Hidrológica 19. Está delimitada por las coordenadas 16° 46' 48" y 17° 10' 40" N, y entre 99° 39' 00" y 99° 54' 00" O, con un área de captación de 46 802.22 ha y un perímetro de 154 km.

by each value of precipitation was obtained. The table thus generated was exported as Dbase file to be analyzed as table of Excel, and with simple operations the precipitation depth (PP) was obtained, in mm, m and volume.

Estimation of the relation rain-runoff

The relationship between rainfall and runoff was estimated considering the Sabana River basin and was obtained by means of tabulation, graphic analysis and analysis of simple linear regression among the hydrological variables, using the results of precipitation volume and data of mean daily flow reported in the monitoring stations Kilómetro 21 and Tuncingo, for the days from October 7 to 10 of 1997. In addition, for the purpose of comparison, an analysis was made of the mean flow of twelve years of records and rainfall data recorded for the month of October over a period of 10 years.

The volume of daily rainfall of the hurricane was estimated from the water depth reported in the three meteorological stations closest to the basin, during the days from October 7 to 10 of 1997.

With the volume of precipitation and of runoff of monitoring station Kilómetro 21, the coefficient of daily runoff was estimated, with which it was possible to estimate the discharge volume corresponding to the capture area of Tuncingo and of the entire basin.

RESULTS AND DISCUSSION

Hydrological characterization of the basin

As first result, the geographic location of the basin is presented, along with the characterization of the relief and the most important morphometric parameters related to the hydrological response under extreme rainfall events, such as hurricane Pauline.

Geographic location

The hydrographic basin of the Sabana River is located in the southern part of the state of Guerrero, in the municipality of Acapulco and in Hydrological Region 19. It is found between coordinates 16° 46' 48" and 17° 10' 40" N, and between 99° 39' 00" and 99° 54' 00" W, with a capture area of 46 802.22 ha and a perimeter of 154 km.

Relief

The basin has a mean slope of 13.5 % with pronounced relief in the high portion and gentle slopes in the lower section, before the mouth to the Tres Palos Lagoon. The high basin is part of the Southern Sierra Madre, has a pronounced slope that propitiates short concentration times of the runoff and short duration

Relieve

Tiene una pendiente media de 13.5 % con relieve pronunciado en la parte alta y pendientes suaves en la parte baja, antes de la desembocadura a la Laguna de Tres Palos. La cuenca alta es parte de la Sierra Madre del Sur, tiene una pendiente pronunciada que propicia cortos tiempos de concentración del escurrimiento y corta duración de las avenidas. La parte baja de la cuenca está constituida por un valle amplio considerado como la llanura, de inundación localizada al este de la Ciudad de Acapulco y que, de acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano, está expuesto a diferentes riesgos de inundación.

Sistema de drenaje

El sistema de drenaje de la cuenca es disperso, con una longitud de 727 km, lo que se refleja en una densidad de drenaje alta (1.55 km.km^{-2}) y en la dominancia de patrones de drenaje dendríticos (Figura 1) indicando que en la parte alta de la cuenca los materiales geológicos son altamente susceptibles a la degradación por erosión hídrica, formando un cauce principal con una longitud de 64.69 km y una pendiente media de 3.35 %.

El área de drenaje se estimó en 35 726.18 ha hasta la estación de aforo Kilómetro 21; de 43,187.66 ha, a la estación de aforo Tuncingo y de 46,802.50 ha en el desfogue principal.

Trayectoria del huracán Paulina, y cuenca del río La Sabana, Guerrero, México

El huracán se originó en el Océano Pacífico, dentro de la sonda del Golfo de Tehuantepec, e inició su trayectoria como depresión tropical Número 18 E el 5 de octubre de 1997 a 395 km al sur de las Costas de Oaxaca, entre las coordenadas 12.2° y 96.6° de latitud y longitud. Desarrolló todas las etapas de formación de un huracán, con velocidad de los vientos en el centro de giro, que varió de 40.23 km h^{-1} a 185.07 km h^{-1} y la presión barométrica a nivel del mar descendió a 0.94 atmósferas, lo que provocó que en dos ocasiones alcanzara la categoría 4 dentro de la escala de Saffir- Simpson (Cuadro 1).

La trayectoria muestra que entró a tierra como huracán de categoría 4 por Huatulco, Oaxaca, el día 8, entre las 12 y las 18 h (avisos 13 y 14) y se desplazó a lo largo de la línea costera y la ciudad de Acapulco el día 9 por la mañana (avisos 16 y 17) como tormenta tropical.

Desde su inicio, el huracán Paulina se movió en franca dirección opuesta a la trayectoria típica seguida

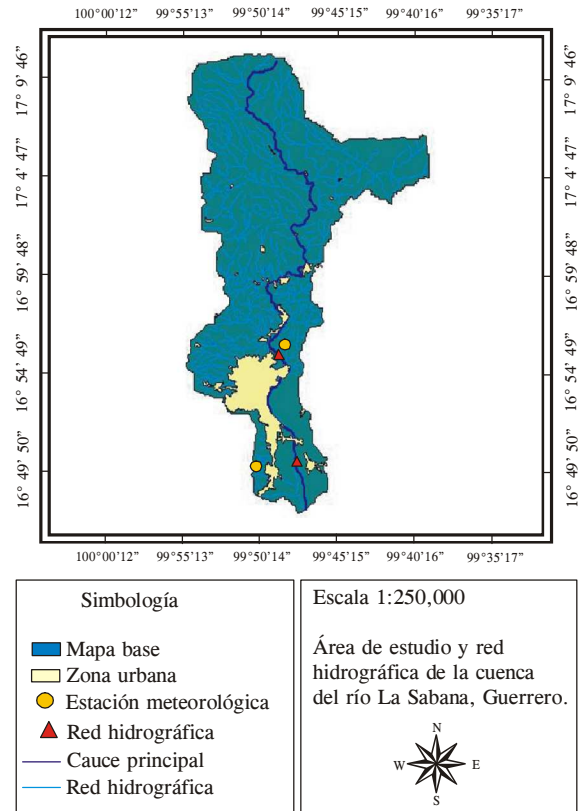


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río La Sabana, red de drenaje y estaciones de aforo.

Figure 1. Geographic location of the Sabana River basin, drainage network and monitoring stations.

of the torrents. The lower portion of the basin is comprised of a wide valley considered as the flood plain, located to the east of the city of Acapulco, and which according to the Mexican Geological Service, is exposed to different flood risks.

Drainage system

The drainage system of the basin is disperse, with a length of 727 km, which is reflected in a high drainage density (1.55 km.km^{-2}) and in the dominance of dendritic drainage patterns (Figure 1), indicating that in the high part of the basin the geological materials are highly susceptible to degradation from hydric erosion, forming a principal channel with a length of 64.69 km and a mean slope of 3.35 %.

The drainage area was estimated at 35 726.18 ha as far as the monitoring station Kilómetro 21; 43 187.66 ha, at the Tuncingo monitoring station and 46 802.50 ha at the main discharge point.

por los CT, establecida de este a oeste. Registró dos cambios de dirección: uno hacia el noreste y otro hacia el noroeste, por lo que impactó primero en la costa de Oaxaca y continuó hacia Acapulco, cruzando la zona de estudio como tormenta tropical y desintegrándose en el estado de Michoacán el día 10.

La velocidad de avance del centro de giro estimada demuestra que en cinco días recorrió 1 553.28 km con una velocidad promedio de 21.83 km h⁻¹, cruzando el estado de Guerrero y la cuenca hidrográfica del río La Sabana a una velocidad de 24.43 km h⁻¹.

En mar abierto recorrió 727.33 km (aviso 14) y en tierra 825.95 km, a velocidades de 9.32 y 22.94 km.h⁻¹, lo que indica que se presentó como huracán de velocidad lenta en el mar y moderada en tierra, de acuerdo con el criterio de la SARH (1985).

Distribución espacial de la precipitación en el estado de Guerrero

En el estado de Guerrero las precipitaciones atribuibles al huracán Paulina se iniciaron desde el día 7, cuando el centro de giro del meteoro aún se ubicaba en aguas del Océano Pacífico, registrándose láminas que variaron desde 90 mm en la zona sureste, hasta 10 mm en el centro sur del estado, incluyendo la zona de estudio. La precipitación máxima registrada fue 360 mm el día 8 de octubre (entre las 12:00 am y las 12:00 pm) en la estación climatológica de Acapulco, cuando el meteoro hacía contacto en la costa de Oaxaca como huracán de categoría 4, y el centro de giro se localizaba a 400 km al sureste de la cuenca del río La Sabana (Figura 2a y 2b).

A partir de esa distancia y hora, las precipitaciones disminuyeron conforme el meteoro avanzó sobre la línea costera del Estado de Guerrero y llegó al Puerto de Acapulco y a la zona de estudio. El análisis de la trayectoria, la intensidad del meteoro y la precipitación generada, permiten concluir que el radio de mayor impacto por las lluvias del huracán Paulina fue de 400 km, y alcanzó la zona de estudio cuando mantenía una intensidad de categoría 4, lo cual coincide con lo reportado por Rosengaus (1998), quien establece que el diámetro promedio del área afectada por lluvias varía 500 hasta 900 km para huracanes de alta categoría.

Distribución espacial y temporal de la precipitación en la cuenca del río La Sabana

El centro de giro del huracán Paulina cruzó la cuenca del río La Sabana el día 9 por la mañana, pero generó lluvias desde el día 7 hasta el 10; y las estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca que registraron

Path of hurricane Pauline, and basin of the Sabana River, Guerrero, México

The hurricane originated in the Pacific Ocean, within the sound of the Gulf of Tehuantepec, and started its path as tropical depression Number 18 E on October 5 of 1997, 395 km to the south of the coast of Oaxaca, between coordinates 12.2° and 96.6° latitude and longitude. It developed all of the formation stages of a hurricane, with wind velocities in the rotation center that varied from 40.23 km h⁻¹ to 185.07 km h⁻¹, and the barometric pressure at sea level dropped to 0.94 atmospheres, which on two occasions caused it to reach category 4 within the Saffir-Simpson scale (Table 1).

The path shows that it entered land as a category 4 hurricane at Huatulco, Oaxaca, on October 8, between 12:00 and 18:00 (warnings 13 and 14), and moved along the coast line and to the city of Acapulco on the morning of October 9 (warnings 16 and 17) as a tropical storm.

From its beginning, hurricane Pauline moved in the opposite direction of the typical path followed by the TS, established from east to west. It registered two changes of direction: one towards the northeast and the other toward the northwest, thus it hit first on the coast of Oaxaca and continued toward Acapulco, crossing the zone of study as a tropical storm and disintegrating in the state of Michoacán on October 10.

The estimated movement velocity of the rotation center shows that in five days the storm covered 1 553.28 km with an average velocity of 21.83 km h⁻¹, crossing the state of Guerrero and the hydrographic basin of the Sabana River at a velocity of 24.43 km h⁻¹.

In the open sea it covered 727.33 km (Warning 14) and on land 825.95 km, at velocities of 9.32 and 22.94 km h⁻¹, which indicates that it appeared as a hurricane of low velocity on the ocean and moderate on land, according to the criteria of the SARH (1985).

Spatial distribution of the rainfall in the state of Guerrero

In the state of Guerrero the rainfalls attributable to hurricane Pauline began on October 7, when the rotation center was still found in the waters of the Pacific Ocean, registering water levels that varied from 90 mm in the southeast zone, to 10 mm in the south central zone of the state, including the zone of study. The maximum rainfall registered was 360 mm on October 8 (between 12:00 am and 12:00 pm) in the weather station of Acapulco, when the storm made contact with the coast of Oaxaca as a category 4 hurricane, and the rotation center was located 400 km to the Southeast of the Sabana River basin (Figure 2a and 2b).

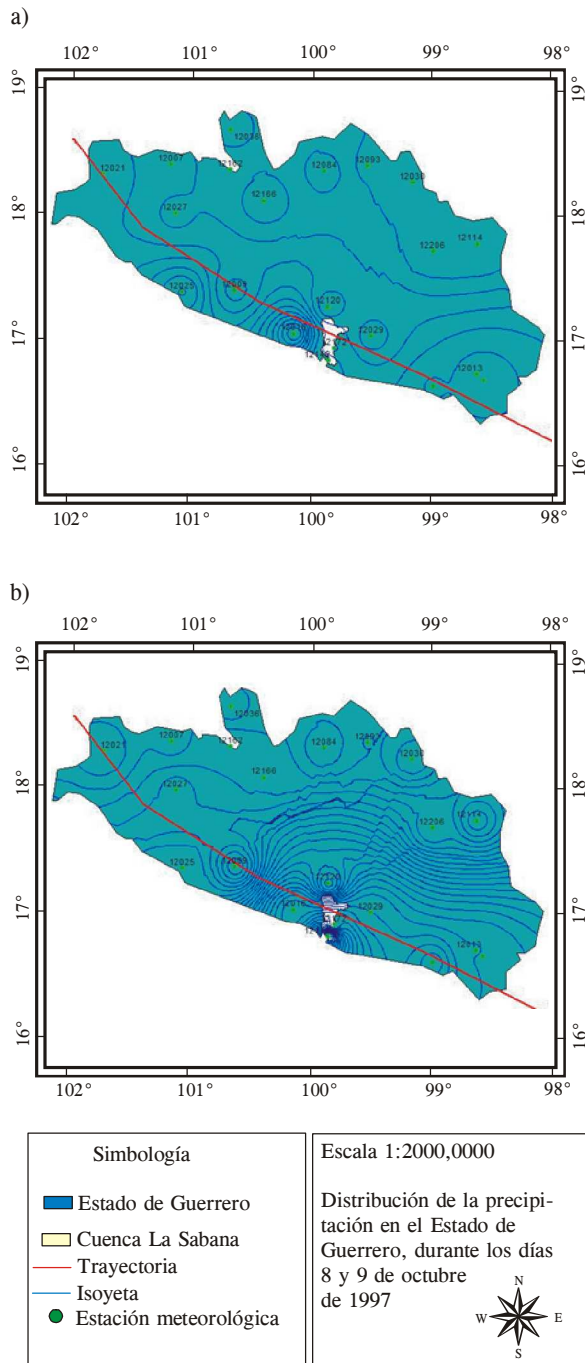


Figura 2. Distribución de la precipitación en el Estado de Guerrero generada por el huracán Paulina, durante los días 8 (Figura 2 a) y 9 (Figura 2 b) de octubre de 1997.

Figure 2. Distribution of the rainfall in the state of Guerrero generated by Hurricane Pauline, during October 8 (Figure 2 a) and 9 (Figure 2 b) of 1997.

mayor precipitación durante ese período fueron las de Acapulco (12142), Chacalapa (12029) y Carrera Larga (12016).

After this distance and hour, the rains diminished as the storm advanced along the coast of the state of Guerrero and reached the port of Acapulco and the zone of study. The analysis of the path, the intensity of the storm and the rainfall that was generated, make it possible to conclude that the radius of highest impact from the rains of Hurricane Pauline was 400 km, and reached the zone of study when it maintained an intensity of category 4, which coincides with what was reported by Rosengaus (1998), who establishes that the average diameter of the area affected by rains varies from 500 to 900 km for high category hurricanes.

Spatial and temporal distribution of the rainfall in the Sabana River basin

The rotation center of Hurricane Pauline crossed the Sabana River basin on the morning of October 9, but generated rains from October 7 to 10. The meteorological stations near the basin that registered the highest precipitation during this period were those of Acapulco (12142), Chacalapa (12029) and Carrera Larga (12016).

The impact from rain was spatially and temporally distributed according to the intensity of the storm, distance from the rotation center and the geomorphology of the basin, starting on October 7, registering the maximum rainfall on October 8 and gradually diminishing during October 9 and 10, as the rotation center moved away from the center of the basin. On October 7 the rainfall was distributed uniformly throughout the basin, registering 5 mm in most of the area and 10 mm in the northeastern end.

The isohyets obtained in the meteorological records in the stations near the basin, indicate that on October 8 hurricane Pauline impacted with high intensity rains, which varied from 240 to 360 mm in 24 h, generating a water level whose arithmetic mean was calculated at 297 mm (Figure 3).

According to the climatological information that was used, the highest precipitation was registered at the Acapulco meteorological station, located at the southwest end of the basin and corresponds to 360 mm in 24 h.

During October 9 the precipitation decreased considerably (50 mm) and the maximum precipitations occurred in the Western end of the basin, which is explained by the advance of the rotation center of the hurricane, which on that date and hour had crossed the zone of study and was maintained as a tropical storm, generating the last precipitations on October 10.

The global analysis of the precipitation indicates that in the Sabana River basin a maximum rainfall was registered of 297 mm in 24 hours during October 8,

El impacto por lluvia se distribuyó espacial y temporalmente de acuerdo con la intensidad del meteoro, distancia al centro de giro y geomorfología de la cuenca, iniciando el día 7, registrándose la máxima precipitación el día 8 y disminuyendo paulatinamente durante los días 9 y 10, conforme el centro de giro se alejaba del centro de la cuenca. El día 7 la precipitación se distribuyó de manera uniforme en toda la cuenca registrando 5 mm en la mayor parte del área y 10 mm en el extremo noreste.

Las isoyetas obtenidas de los registros meteorológicos en las estaciones cercanas a la cuenca, indican que el día 8 de octubre el huracán Paulina impactó con lluvias de alta intensidad, las cuales variaron de 240 a 360 mm en 24 h, generando una lámina cuya media aritmética se calculó de 297 mm. (Figura 3).

De acuerdo con la fuente de información climática utilizada, la precipitación más alta se registró en la estación meteorológica de Acapulco, ubicada en el extremo suroeste de la cuenca y corresponde al dato de 360 mm en 24 h.

Durante el día 9 la precipitación se redujo considerablemente (50 mm) y las máximas precipitaciones se presentaron en la vertiente Oeste de la cuenca, lo que se explica por el avance del centro de giro del meteoro, que para esa fecha y hora había cruzado la zona de estudio y se mantenía como tormenta tropical, generando las últimas precipitaciones el día 10.

El análisis global de la precipitación indica que en la cuenca del río La Sabana se registró una precipitación máxima en 24 horas de 297 mm durante el día 8, equivalente a 1.9 veces la precipitación promedio del mes de octubre, y una lámina acumulada de 373 mm del 7 al 10 de octubre.

El análisis de la distribución espacial de la precipitación muestra que la máxima precipitación se ubica entre las isoyetas 350 y 360 mm, las cuales incluyen un área total de 7988.51 ha ubicadas en el extremo sur de la cuenca y fue generada el día 8, siendo un huracán de categoría 4 y estando el centro de giro a una distancia de 421.98 km al sur del centro de la cuenca, pero avanzando en dirección del mismo. Esto hace suponer que la precipitación se incrementó al acercarse el centro de giro y disminuyó conforme cruzó sobre el área de estudio y se degradó a tormenta tropical entre el 9 y 10 de octubre.

Los resultados anteriores difieren de lo reportado por Matías (1998), quien al analizar la precipitación generada por el mismo meteoro, reporta una precipitación máxima en 24 horas de 411 mm registrada el día 9 de octubre, dato que en este estudio no fue posible corroborar en ninguna estación meteorológica, pero cuya veracidad sería de suma importancia considerar, con fines de planificación del desarrollo económico de la cuenca.

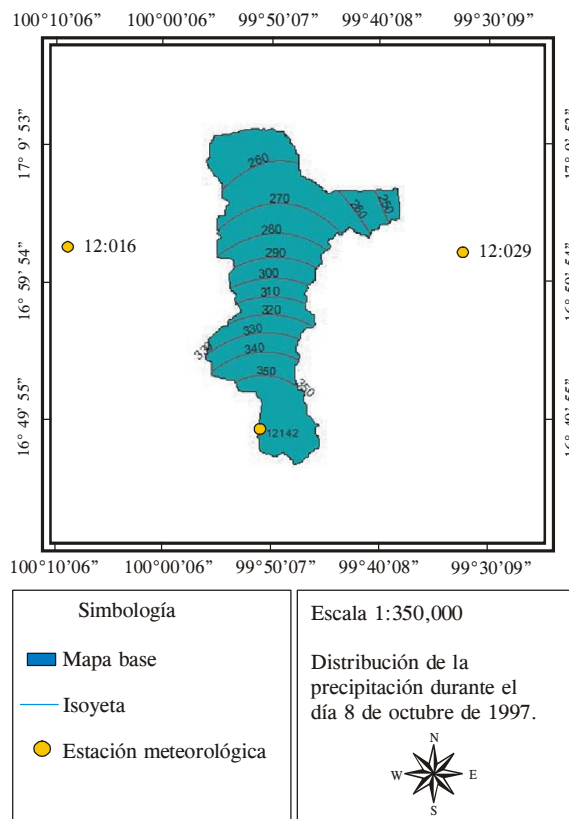


Figura 3. Estaciones meteorológicas e isoyetas que muestran la distribución espacial de la precipitación generada por el huracán Paulina en la cuenca, el día 8 de octubre de 1997.

Figure 3. Meteorological stations and isohyets that show the spatial distribution of the rainfall generated by Hurricane Pauline in the basin, on October 8 of 1997.

equivalent to 1.9 times the average precipitation of the month of October, and an accumulated water level of 373 mm from October 7 to 10.

The analysis of the spatial distribution of the precipitation shows that the maximum rainfall is found between isohyets 350 and 360 mm, which include a total area of 7988.51 ha located in the southern end of the basin and was generated on October 8, as a category 4 hurricane, with the rotation center at a distance of 421.98 km to the south of the center of the basin, but advancing in the direction of this area. This leads to the assumption that the precipitation increased as the rotation center moved closer and decreased as it crossed over the area of study and was reduced to a tropical storm between October 9 and 10.

The above results differ from what was reported by Matías (1998), who upon analyzing the rainfall generated by the same storm, reports a maximum precipitation of 411 mm in 24 hours registered on October 9, which was not possible to confirm in the

Relación precipitación-escorrimento

El escurrimiento superficial es la proporción de lluvia que alcanza la red de drenaje y drena en forma de avenida hacia un punto de desfogue. Dicha proporción depende de factores climáticos, de relieve y edáficos destacando en estos últimos el contenido de humedad en el perfil del suelo (López, 1998).

El gasto medio diario registrado en las estaciones de aforo es el escurrimiento expresado en $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, que pasa por la sección transversal del cauce y constituye la respuesta hidrológica de la cuenca ante cada evento de lluvia. También es posible expresarlo en forma de volumen medio diario y correlacionarlo con el volumen de lluvia registrada.

Los resultados de los análisis de la precipitación y escurrimiento generados por el huracán Paulina en la cuenca del río La Sabana, se muestran en la figura 4. El gasto reportado en la estación de aforo Kilómetro 21 fue 394.28, 1042.07, 59.23 y 26.85 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, para los días 7, 8, 9 y 10 de octubre de 1997, cuyo volumen se observa en la figura 4 y se correlaciona fuertemente ($R^2=0.78$) con el volumen de precipitación estimado para el área de captación correspondiente a este punto.

El gasto reportado en la estación de aforo Tuncingo fue 17.60, 475.14, 85.73 y 33.07 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, para los días 7, 8, 9 y 10 del mismo mes, los cuales son menores a los registrados en Kilómetro 21. Por tanto, se consideraron en este análisis y el volumen que se reporta en la Figura 4 se estimó a partir del área y el coeficiente de escurrimiento.

Para estimar el volumen medio diario en la estación de aforo Tuncingo y en la desembocadura del cauce, se aplicaron los coeficientes de escurrimiento estimados en la estación Kilómetro 21.

El coeficiente de escurrimiento diario obtenido durante el paso del meteoro varía en forma proporcional a la lámina de precipitación, con un valor de 0.84 el día 8 y de 0.24 el día 9. Ello se reflejó en el gasto medio registrado en la estación de aforo Kilómetro 21 y en las zonas de inundación reportadas en la margen derecha del tramo bajo del cauce principal.

De acuerdo con lo anterior, el volumen medio diario aumentó proporcionalmente con el área de captación de la cuenca aguas abajo de la estación Kilómetro 21, estimando un volumen total de desfogue en su desembocadura en la Laguna de Tres Palos de 133 971 269 m^3 durante los 4 d, de los cuales 124 447 952 m^3 correspondieron al día 8 de octubre.

El volumen de desfogue en la desembocadura a la Laguna de Tres Palos equivale a 114 veces el escurrimiento medio de octubre, calculado para un periodo de 10 años.

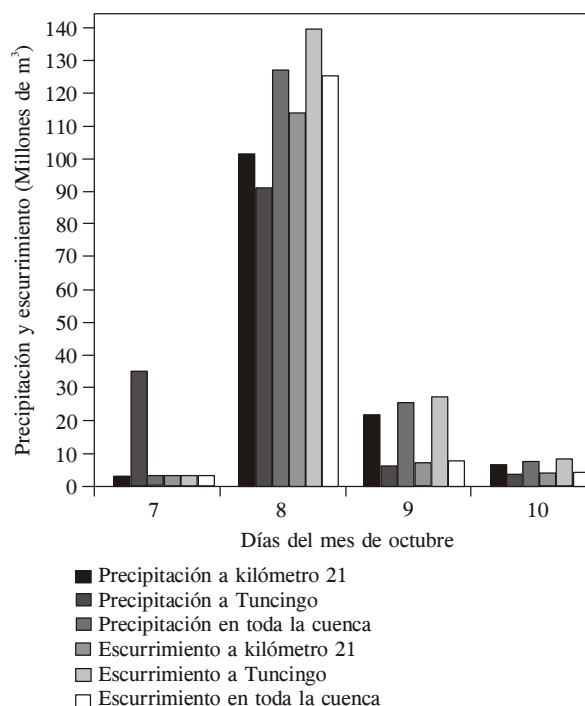


Figura 4. Precipitación generada por el huracán Paulina y volumen de escurrimiento registrado en tres puntos de desfogue del 7 al 10 de octubre de 1997.

Figure 4. Rainfall generated by hurricane Pauline and volume of runoff registered at three discharge points from October 7 to 10 of 1997.

present study at any meteorological station, but whose veracity would be of great importance to consider, with the purpose of planning the economic development of the basin.

Relation rain-runoff

Surface runoff is the proportion of rainfall that reaches the drainage network and drains in the form of a torrent towards a discharge point. This proportion depends on climatic, relief and edaphic factors, in which the moisture content in the soil profile is of high importance (López, 1998).

The mean daily flow registered in the monitoring stations is the runoff expressed in $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, which passes through the transversal section of the channel and constitutes the hydrological response of the basin to each rainfall event. It can also be expressed in the form of mean daily volume and can be correlated to the volume of rainfall that is registered.

The results of the analyses of the rainfall and runoff generated by hurricane Pauline in the Sabana River basin are shown in Figure 4. The flow reported in the monitoring station Kilómetro 21 was 394.28, 1042.07, 59.23 and 26.85 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, for days 7, 8, 9 and 10 of

CONCLUSIONES

El centro de giro del huracán Paulina inició su recorrido sobre la línea costera el 8 de octubre de 1997 y recorrió 825.95 km en tierra a una velocidad promedio de 21 km h^{-1} , cruzando la cuenca del río La Sabana el día 9 pero generando las lluvias más intensas el día 8, cuando el centro de giro estaba a una distancia de 400 km al este.

La precipitación registrada en las estaciones meteorológicas del estado, y cercanas a la cuenca, muestra una variación inversamente proporcional con la distancia del centro de giro del meteoro, desde su entrada por Huatulco y Puerto Ángel, en el Estado de Oaxaca. La distribución espacial de la precipitación máxima registrada el día 8 varió de la cuenca baja hacia la cuenca alta en 100 mm, generando un gasto medio máximo de $1042 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en la estación de aforo Kilómetro 21 y un volumen de entrega a la Laguna de Tres Palos de $124\,447\,952 \text{ m}^3$.

Al comparar la precipitación total registrada durante el paso del meteoro del 7 al 10 de octubre con la precipitación media de ese mismo mes estimada para los 10 años anteriores, se puede concluir que Paulina impactó la cuenca con una precipitación en 24 h que equivale a 1.9 veces la precipitación promedio de dicho mes y 2.4 veces esa misma precipitación en 4 d. Esto aportó un volumen directo equivalente a 114 veces el volumen promedio para el mes de octubre y el gasto medio diario más alto en un período de 12 años.

La relación precipitación-volumen medio diario en la cuenca del río La Sabana, generado por el paso del meteoro, tuvo una función lineal simple a diferentes puntos de desfogue, cuya ecuación de regresión y R^2 fueron: A) Para la estación de aforo Kilómetro 21: $Y=7.9293+0.7784X$, $R^2=0.78$; B) Para la estación de aforo Tuncingo: $Y=0.9292-5.9352X$, $R^2=0.98$; y para el punto final de desfogue a la Laguna de Tres Palos: $Y=0.929-6.3997X$, $R^2=0.98$. En todos los casos X =Volumen de precipitación estimado y Y =Volumen medio diario registrado como escurrimiento. Los valores límite de aplicación de estas ecuaciones varían de 1.85 a 138.825 m^3 precipitación y de 2.32 a 124.447 m^3 escurrimiento.

El relieve, tipo de suelo y cobertura vegetal, son factores similares a las cuencas colindantes, lo que muestra la fragilidad de los sistemas hidrológicos de alta montaña de la región ante estos eventos de lluvia. Por tanto se debe realizar investigación hidrológica más detallada en cuencas y subcuencas hidrográficas.

LITERATURA CITADA

Bitrán B., D. 2002. Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México, en el periodo de 1980-99. CEPAL 8-25. México, D.F.

October of 1997, whose volume is observed in Figure 4 and is strongly correlated ($R^2=0.78$) with the volume of rainfall estimated for the area of capture corresponding to this point.

The flow reported in the Tuncingo monitoring station was 17.60, 475.14, 85.73 and $33.07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, for days 7, 8, 9 and 10 of the same month, which are lower than those registered at Kilómetro 21. Thus, they are not considered in this analysis and the volume that is reported in Figure 4 was estimated from the area and the runoff coefficient.

To estimate the mean daily volume in the Tuncingo monitoring station and at the mouth of the channel, the runoff coefficients estimated at the Kilómetro 21 station were applied.

The daily runoff coefficient obtained during the passing of the hurricane varies proportionally to the precipitation depth, with a value of 0.84 on October 8 and 0.24 on October 9. That was reflected in the mean flow registered in the Kilómetro 21 monitoring station and in the flood zones reported in the right margin of the section below the principal channel.

According to the above, the mean daily volume increased proportionally with the area of capture of the basin downstream from station Kilómetro 21, estimating a total discharge volume at its mouth in the Laguna de Tres Palos of $133\,971\,269 \text{ m}^3$ during the 4 d, of which $124\,447\,952 \text{ m}^3$ corresponded to October 8.

The discharge volume at the mouth of Laguna de Tres Palos is equivalent to 114 times the mean runoff of October, calculated for a period of 10 years.

CONCLUSIONS

The rotation center of Hurricane Pauline began its path along the coastline on October 8, 1997, and travelled 825.95 km inland at an average velocity of 21 km h^{-1} , crossing the Sabana River basin on October 9, but generating the most intense rains on October 8, when the rotation center was at a distance of 400 km to the east.

The rainfall registered in the state meteorological stations, and close to the basin, shows a variation that is inversely proportional to the distance from the rotation center of the hurricane, starting with its entrance through Huatulco and Puerto Ángel, in the state of Oaxaca. The spatial distribution of the maximum rainfall registered on October 8 varied from the lower basin to the higher basin by 100 mm, generating a mean maximum flow of $1042 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ at monitoring station Kilómetro 21 and an discharge volume to Laguna de Tres Palos of $124\,447\,952 \text{ m}^3$.

Comparing the total rainfall registered during the passing of the hurricane from October 7 to 10 with the

- Castro S. 1998. De huracanes. Costa y Sierra Oaxaqueña. Gobierno del Estado de Oaxaca. Naucalpan, Estado de México.
- CEPAL. Naciones Unidas. Comisión para América Latina y el Caribe. 1998. República Dominicana: Evaluación de los daños ocasionados por el huracán Georges. Sus implicaciones para el desarrollo de país. CEPAL. México, D. F. pp: 56-58.
- FEMA. (Federal Emergency Management Agency). 2000. Natural Disasters. <http://www.fema.gov/kids/kudos.htm> Consulta realizada el 7 de mayo de 2001.
- Hernández C., Ma. E., E. Aspra R., G. Carrasco A., y O. Delgado D. 2001. Los ciclones tropicales en México. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. pp: 82-84
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1984. Carta Topográfica de Xaltianguis. Escala 1: 50 000. Aguas Calientes, Aguas Calientes, México
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2002. Carta Topográfica de Acapulco. Escala 1: 50 000. Aguas Calientes, Aguas Calientes, México.
- IMTA. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 1999. Extractor Rápido de Información Climática 2. Programa ejecutable en C. D. Cuernavaca, Morelos. México
- López, C. del Ll. F. 1998. Restauración hidrológico- forestal de Cuencas y control de la erosión. Ingeniería Medioambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Mundi-prensa. Madrid, España.
- Lugo H. J., y M. Inbar. 2002. Desastres Naturales en América Latina. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Matías R., L. G. 1998. Algunos efectos de la precipitación del huracán Paulina, en Acapulco Guerrero. Investigaciones Geográficas- Instituto de Geografía. UNAM. N37 P7-20. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D.F.
- Rosengaus, M. M. 1998. Efectos destructivos de los ciclones tropicales. MAPFRE RE, ITSEMAP, IMTA. Ed. MAPFRE, S.A. México, D. F.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1985. Estudio de frecuencias de la ocurrencia de ciclones tropicales en la zona Matamoros-Brownsville. Subsecretaría de Planeación. México, D. F.
- SEMARNAP. (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1998. Pronóstico de la actividad de huracanes para la temporada de 1998. En el Atlántico y el Pacífico. Servicio Meteorológico Nacional. <http://www.cna.gob.mx/ciclones/prono98/prono98.html> (Consulta realizada en junio de 2001).
- Tortós, G. 2002. Huracanes. Atmósferas. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Ciencias Ambientales y Meteorología Aplicada <http://www.itcr.ac.cr/Gruposdeinteres/Meteorologia/atmosferapage/huracanes.htm> (Consulta realizada el 19 de abril del 2004).

mean rainfall of the same month estimated for the 10 previous years, it can be concluded that Pauline impacted the basin with a rainfall in 24 h equivalent to 1.9 times the average precipitation of that month and 2.4 times the same precipitation in 4 d. This supplied a direct volume equivalent to 114 times the average volume for October and the highest mean daily flow over a period of 12 years.

The relation rainfall-mean daily volume in the Sabana River basin generated by the passing of the hurricane, had a simple linear function at different discharge points, whose equation of regression and R^2 were: A) For monitoring station Kilómetro 21: $Y = 7.9293 + 0.7784X$, $R^2 = 0.78$; B) For the Tuncingo station: $Y = 0.9292 - 5.9352X$, $R^2 = 0.98$; and for the final discharge point to Laguna de Tres Palos: $Y = 0.929 - 6.3997X$, $R^2 = 0.98$. In all of the cases X = Volume of estimated rainfall and Y = Mean daily volume registered as runoff. The limit values of application of these equations vary from 1.85 to $138.825 \times 10^6 \text{ m}^3$ rainfall and from 2.32 to $124.447 \times 10^6 \text{ m}^3$ of runoff.

The relief, soil type and plant cover are factors similar to the bordering basins, which shows the fragility of the high mountain hydrological systems of the region experiencing rain events of this nature. Therefore, it should be carried out detailed hydrological investigation of hydrographic basins and sub-basins.

End of the English version—



- UNISYS WEATHER HURRICANE. 2002. Hurricane / Tropical Data. Eastern Pacific Tropical Storm Tracking by Year. Historic Files of Pacific Hurricanes. <http://weather.unisys.com/hurricane/index.html> (Consulta realizada el 11 febrero de 2002).
- Villegas R., I., J. L. Oropeza M., M. Martínez M., E. Mejía S. 2004. Producción de agua y sedimentos por impacto de ciclones tropicales en la cuenca hidrográfica del río La Sabana, Guerrero. Terra Latinoamericana: 327-333. Julio-Septiembre. 2004.