

Caracterización hidrográfica de las cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México

Hydrographical characteristic of basins of Bahía de Navidad, Jalisco, Mexico

José Mariscal-Romero*✉, Tunuary Roberto Chávez-González*, Judith Arciniega-Flores*

Mariscal-Romero, J., Chávez-González, T. R., & Arciniega-Flores, J. (2019). Caracterización hidrográfica de las cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 38-46.

RESUMEN

Con base en diferentes parámetros e índices hidrográficos se realizó una caracterización física del área de drenaje de la Bahía de Navidad, Jalisco, México. Los resultados permitieron identificar, y definir con mayor precisión las bases del comportamiento hidrográfico de tres pequeñas subcuencas que drenan y desembocan en el océano Pacífico; 1) Arroyo El Pedregal de peligrosidad alta impacta de manera independiente sobre San Patricio-Melaque, 2) Arroyo El Organito de peligrosidad moderada desemboca en laguna El Tule, y zonas urbanizadas aledañas, 3) Arroyo Seco de baja peligrosidad determina las condiciones hidrológicas de laguna Barra de Navidad. Se concluye que el deterioro ambiental, alto grado de fragmentación ecológica y deforestación, aunados a especificidades hidrográficas calculadas por los índices, las hace altamente susceptibles en diferentes

grados a situaciones de riesgo y emergencia por inundaciones, aluviones y deslaves ante eventos hidrometeorológicos cada vez más frecuentes y potentes de los últimos años.

ABSTRACT

A physical characterization of the drainage area of the Bahía de Navidad, Jalisco, Mexico was carried out, based on different parameters and hydrographic indices. The results allowed to identify and define more precisely the baseline of the hydrographic behavior of three small "sub" basins that drain and flow into Pacific Ocean. 1) Arroyo El Pedregal a high-risk creek impacts independently on San Patricio-Melaque, 2) Arroyo El Organito a moderate risk creek runs into El Tule lagoon, and surrounding urbanized areas, 3) Arroyo Seco it is low hazard that determines the hydrological conditions of Barra de Navidad lagoon. In conclusion, environmental deterioration, high degree of ecological fragmentation and deforestation, coupled with hydrographic specificities calculated by indexes, makes them highly susceptible in different degrees to situations of risk and emergency due to floods and alluvial landslides, in face of increasingly frequent and powerful hydrometeorological events in recent years.

Palabras clave: Bahía de Navidad; Jalisco; cuencas; hidrografía; descripción; SIG.

Keywords: Bahía de Navidad; Jalisco; basin; hydrography; description; GIS.

Recibido: 5 de julio de 2018, aceptado: 8 de febrero de 2019

* Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Gómez Farías 82, San Patricio-Melaque, C. P. 48980, Jalisco, México. Correo electrónico: mariscal@costera.melaque.udg.mx; tunuary@gmail.com; juditha226@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0978-0480>; <http://orcid.org/0000-0003-2435-2695>; <http://orcid.org/0000-0001-9775-6450>

✉ Autor para correspondencia

INTRODUCCIÓN

Aun con el avance en la tecnología de percepción remota, del software de los sistemas de información geográfica y de la disponibilidad de amplias bases de datos como las del Instituto Nacional de Estadística

y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Mexicano de Tecnología de Agua (IMTA), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), así como del Instituto de Información Estadística y Geografía del Estado de Jalisco (IIG-Jalisco), es particularmente evidente en los trópicos la falta de planes de manejo que incorporen variables ambientales, el manejo de las presiones derivadas del crecimiento y las verdaderas necesidades de desarrollo de las poblaciones costeras.

Uno de los aspectos fundamentales en la comprensión del funcionamiento ecosistémico es la caracterización física de las cuencas (Martínez-Ramos et al., 2012; Mas, Velázquez, & Couturier, 2009). Esta caracterización es muy importante porque tiene que ver con la forma de las mismas, se trata de la configuración geométrica tal y como está proyectada sobre el plano horizontal (Llamas, 1993). Esta forma controla la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde el nacimiento hasta su desembocadura, por tanto, determina el caudal potencial y peligrosidad de avenidas y/o inundaciones (Guilarte, 1978).

El objetivo de este trabajo fue describir y caracterizar las cuencas que confluyen en la Bahía de Navidad, Jalisco, México, a una escala menor y más precisa; sin embargo, esta caracterización es solo una parte del diagnóstico integral de las mismas, pues el conocimiento de la conducta histórica del conjunto de factores como calidad, composición bioquímica del agua, así como el rumbo que sigue a través de su cauce, a los humedales y/o en los afluentes temporales y perennes de la bahía, permitirán distinguir las dinámicas geomorfológicas históricas y otros procesos ecológicos de funcionamiento que mantienen los patrones reproductivos, la distribución de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos regionales (Martínez-Ramos et al., 2012; Moberg & Rönnbäck, 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

La Bahía de Navidad se localiza en la cuenca: Chacala-Purificación, entre las cuencas de los ríos Marabasco y Purificación. El territorio corresponde espacialmente a cuatro municipios de Jalisco, en el que Cihuatlán presenta la mayor superficie (67.3%), seguido de Cuautitlán (21.2%), La Huerta (8.4%) y, por último, Casimiro Castillo (3.1%).

Dentro de Bahía de Navidad existen tres corrientes temporales, pequeñas y estrechas, que encierran a ríos de poco volumen y longitud, drenan inmediatamente hacia el sur (por carecer de lineamientos estructurales este-oeste) al océano Pacífico por la bahía. Las cuencas de estas tres escorrentías (ríos/arroyos) presentan una marcada estacionalidad de flujo, que se asocia al temporal ciclónico y con excepción del Arroyo Seco, que en ocasiones sostiene un caudal mínimo todo el año, permanecen secos en invierno y primavera (figura 1). Estos arroyos-ríos son El Pedregal, El Organito-El Barro y Arroyo Seco; son temporales, de carácter torrencial y sus caudales y máximas avenidas se relacionan con la frecuencia e intensidad del temporal de lluvias durante la temporada de huracanes del Pacífico Central mexicano.

Con base en la información vectorial del INEGI, de las cartas E13b41, E13b42, E13b31 y E13b32, del continuo de elevaciones mexicano formato ráster (CEM versión 3.0 INEGI) con una resolución de 30 m; CE versión II continuo de escurrimientos; 1:50,000 INEGI; Edafología, información vectorial 1:50,000; formato shape, IIEGI-Jalisco e imágenes de



Figura 1. Arroyo El Pedregal en secas y en caudal pico. Fotografías tomadas por Judith Arciniega.

satélite Landsat del área (INEGI, 2007), entre otros. Con la ayuda de programas computacionales especializados como ArcView 3.1, Arc Gis 9.2, Didger 3 y Surfer 8 se analizaron, describieron y construyeron un modelo digital de elevación; así como mapas temáticos propios, de topografía, hidrografía, uso de suelo y vegetación, edafología. Se delimitó cada una de las cuencas de la bahía al seguir los parteaguas hasta su desembocadura en el océano Pacífico, desde Punta Graham a Punta Melaque, en Bahía de Navidad, Jalisco.

A partir de las imágenes, con la técnica anterior se definieron cada una de las tres cuencas hidrográficas: 1) El Pedregal-San Patricio (EP-SP), 2) El Organito-El Tule (EO-ET) y 3) Arroyo Seco-Barra de Navidad (AS-BN). Se realizaron recortes de las coberturas de la información vectorial de cada una y se calcularon las variables e índices hidrográficos como parte de la caracterización. Además, se analizaron los cambios en el uso de suelo. Con los registros pluviométricos de tres estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio; Cihuatlán (14028), Chiflón (14048) y Apazulco (14011), gestionadas por el SMN y la CONAGUA, con estos registros y por el método de las isoyetas, se construyeron las curvas de precipitación mediante interpolación por Kringing. Para calcular la precipitación media anual se utilizó la fórmula:

$$P = \frac{(p_1 a_1) + (p_2 a_2) + (p_3 a_3) + \dots + (p_n a_n)}{A} \quad \text{o} \quad P = \frac{\sum p_n a_n}{A}$$

donde P es la precipitación media en la cuenca
 $p_1 \dots p_n$ = precipitación media que corresponde al área entre dos isoyetas
 a = el área comprendida entre dos isoyetas
 A = área total de la cuenca

Por otro lado, el tiempo de concentración fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$T_c = ((0.87)(C_f)^3/R)^{0.385} \quad (\text{Kirpich, 1940})$$

donde T_c es el tiempo de concentración
 C_f = Densidad hidrológica
 R = relieve
 0.87 , 3 y $^{0.385}$ son constantes

irregular compuesta por tres escorrentías tributarias temporales, que se extienden por 506.27 km², el complejo se localiza dentro de las coordenadas 525,812-560,908 este y 2'119,196-2'154,466 norte, atravesando un gradiente altitudinal que va de los 0 hasta los 1,069 m sobre el nivel del mar, dentro del paisaje fisiográfico de la provincia Costas de Jalisco y Colima. Las áreas de drenaje y captación son independientes y forman tres subcuencas: Arroyo El Pedregal-San Patricio (EP-SP), Arroyo El Organito-El Tule (EO-ET) y el río Arroyo Seco-Barra de Navidad (AS-BN), las dos últimas desembocan en las lagunas El Tule y Barra de Navidad, respectivamente, y después al Océano Pacífico, mientras que EP-SP desemboca al mar directamente (figura 2).

La forma, el relieve y la pendiente influyen en los escurrimientos, ya que una cuenca con mayor circularidad puede ser más o menos oval o más compacta, también el aumento de la pendiente del terreno aumenta la velocidad del agua y se acortan los tiempos de concentración; sin embargo, combinaciones de relieve, forma y pendiente, entre otros factores, regulan el comportamiento de los caudales de punta y el vigor de las crecidas en intersecciones de descarga, lagunas y, finalmente, en la desembocadura.

De las tres cuencas analizadas mediante los parámetros hidrográficos de forma resalta la de AS-BN por su longitud, extensión y complejidad, mientras que EP-SP destaca en las características del relieve y densidad de drenaje (tabla 1). AS-BN y EP-SP son

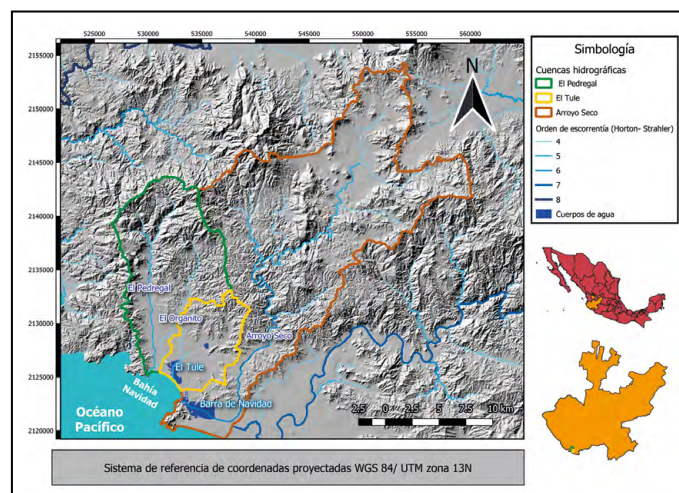


Figura 2. Área de estudio: cuencas de Bahía de Navidad, Jalisco, México. Elaboración propia con datos de INEGI (2007).

RESULTADOS

La delimitación del complejo hidrográfico de Bahía de Navidad mostró una cuenca alargada e

similares en relieve, forma y circularidad, mientras que los valores de EP-SP son parecidos a EO-ET en área, longitud, perímetro, orografía y masividad.

El análisis de la red hidrográfica a partir de la comparación en los índices de intensidad fluvial permite comparar las tres redes entre sí para discernir sobre las diferencias en las formas, relaciones y procesos hidrológico-erosivos de cada cuenca. En relación con los índices de intensidad fluvial (tabla 2), AS-BN es la cuenca más alta, larga, con mayor

perímetro y mayor tiempo de concentración de las tres, y alcanza escorrentías de orden 6 (tabla 3); sin embargo, EP-SP que solo alcanza escorrentías de orden 5 sobresale por sus altos índices de densidad hidrológica y de drenaje, de coeficiente de torrencialidad y una alta variabilidad en su relación de bifurcación entre órdenes. Por otro lado, EO-ET es la de menor pendiente, tiene el menor tiempo de concentración y el valor más alto de mantenimiento del cauce.

Tabla 1
Características hidrográficas de las cuencas de Bahía de Navidad (forma y relieve)

| PARÁMETROS | SUBCUENCAS DE LA BAHÍA DE NAVIDAD | | |
|--|--|------------------------------------|--|
| HIDROGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA | El Pedregal-San Patricio | El Organito-El Tule | Arroyo Seco-Bahía de Navidad |
| Área (km ²) | 80.11 | 76.97 | 349.19 |
| Longitud (km) | 23.789 | 17.2 | 39.05 |
| Anchura (km) | 4.63 | 5.18 | 13.5 |
| Perímetro (km) | 61.24 | 52.66 | 139.16 |
| Descripción fisiográfica del relieve/perfil longitudinal | Frente intermedio-cañones-planicie angosta-mar | Lomeríos-planicie ancha-laguna-mar | Frente elevado-Valle intermontano-F intermedio-cañones-planicie ancha-laguna-mar |
| Relieve (m s. n. m.) | 0-835 | 0-340 | 0-1,069 |
| Densidad de drenaje | 3.6 | 2.5 | 2.7 |
| Patrón de drenaje | Dendrítico | Dendrítico | Dendrítico |
| Tipo de cuenca | Exorreica | Exorreica | Exorreica |
| Relieve (m s. n. m.) | 0-835 | 0-340 | 0-1,069 |
| Relación de Forma Horton | 0.234 | 0.324 | 0.238 |
| Factor de forma Gravelius | 3.37 | 4.48 | 8.94 |
| Compacidad Gravelius | 1.916 | 1.681 | 2.085 |
| Índice de alargamiento | 3.998 | 2.768 | 2.836 |
| Factor de circularidad | 0.268 | 0.349 | 0.227 |
| Pendiente del canal principal (%) | 6.208 | 4.966 | 2.022 |
| Coficiente orográfico Fournier | 0.320 | 0.292 | 1.031 |
| Coficiente de masividad Martonne | 1.997 | 1.949 | 1.718 |
| Longitud del cauce (km) | 20.54 | 13.503 | 64.043 |
| Altura media (m) | 160 | 150 | 600 |

Nota: Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

Tabla 2
 Intensidad fluvial de las cuencas de Bahía de Navidad

| PARÁMETROS INTENSIDAD FLUVIAL | SUBCUENCAS DE LA BAHÍA DE NAVIDAD | | |
|---|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| | El Pedregal- San Patricio | El Organito- El Tule | Arroyo Seco- Bahía de Navidad |
| Número de escurrimientos | 421 | 251 | 961 |
| Densidad hidrológica | 5.255 | 3.261 | 2.752 |
| Densidad de drenaje (km/río/km/área) | 3.63 | 2.47 | 2.73 |
| Coefficiente de torrencialidad | 4.319 | 2.611 | 2.19 |
| Longitud promedio de los escurrimientos | 0.069 | 0.101 | 0.092 |
| Constante para mantenimiento del cauce | 0.275 | 0.405 | 0.366 |
| Valor medio de bifurcación | 5.557 | 4.275 | 2.106 |
| Tiempo de concentración (h) | 22.010 | 14.611 | 70.407 |

Nota: Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

Tabla 3
 Clasificación de Horton para las cuencas de Bahía de Navidad

| Microcuenca | Orden de escorrentía | Número de segmentos | Longitud de segmentos (km) | % Número de orden en relación con longitud de segmentos | Relación de bifurcación |
|------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|---|-------------------------|
| El Pedregal-San Patricio | 1 | 346 | 183.34 | 62.92 | 6.784 |
| | 2 | 51 | 52.02 | 17.85 | 2.550 |
| | 3 | 20 | 32.22 | 11.06 | 6.667 |
| | 4 | 3 | 10.34 | 3.55 | 3 |
| | 5 | 1 | 13.48 | 4.63 | 1 |
| | 6 | --- | --- | --- | --- |
| El Organito-El Tule | 1 | 201 | 126.16 | 66.37 | 5.289 |
| | 2 | 38 | 40.01 | 21.05 | 3.455 |
| | 3 | 11 | 11.98 | 6.30 | 11 |
| | 4 | 1 | 11.93 | 6.28 | 1 |
| | 5 | --- | --- | --- | --- |
| | 6 | --- | --- | --- | --- |
| Arroyo Seco-Barra de Navidad | 1 | 764 | 586.59 | 62.14 | 5.026 |
| | 2 | 152 | 175.97 | 18.64 | 4.606 |
| | 3 | 33 | 73.83 | 7.82 | 3.667 |
| | 4 | 9 | 49.55 | 5.25 | 4.5 |
| | 5 | 2 | 34.13 | 3.62 | 2 |
| | 6 | 1 | 23.93 | 2.53 | 1 |

Nota: Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

Además de los rasgos estructurales como forma, relieve y pendiente, influyen en los escurrimientos también la influencia del trinomio suelo-agua-vegetación, que tiene un efecto significativo en el comportamiento de las escorrentías. En este sentido, dentro de la Bahía se localizan siete tipos y 10 subtipos de suelos, donde predominan los de los tipos regosol, cambisol y fluvisol (figura 3); estos sustratos se conforman por secuencias aluviales de arcillas, arenas (en EO-ET y AS-BN) y guijarros no consolidados (en EP-SP) y en los mencionados valles intermontanos, llanuras aluviales y el fondo de los valles fluviales.

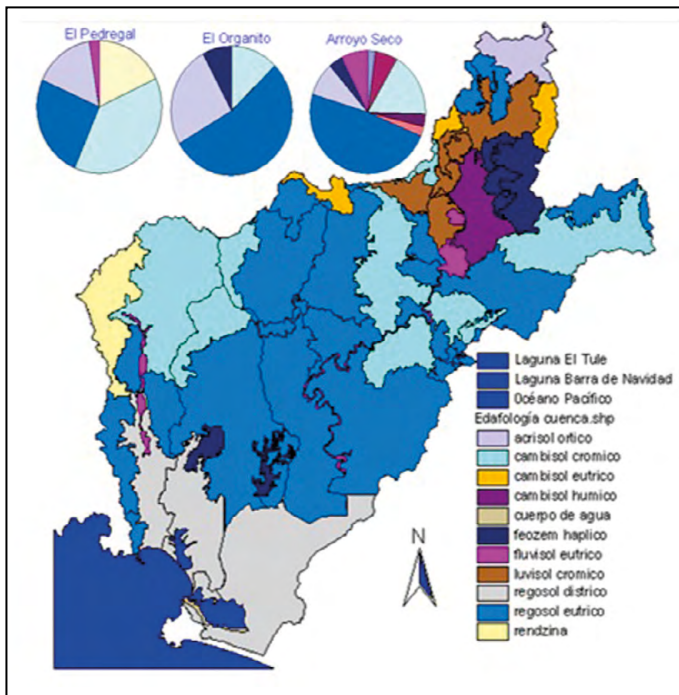


Figura 3. Mapa edafológico, distribución espacial de los tipos de suelo de Bahía de Navidad.

Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

El fluvisol se restringe a los depósitos en franjas estrechas de los cauces de los arroyos que corren por la planicie costera, esta planicie corresponde a más de 45% del territorio, mientras los tipos restantes se localizan en las partes altas de las cuencas, en zonas de pendiente mayor a 10%, lomeríos, montes y pie de monte, los cuales representan más de 55% de la superficie. Las texturas predominantes se encuentran en las clases franco arenoso a franco limoso, en donde predominan las fracciones arena gruesa y media, y limo-arena de fina a muy fina, que indica el origen fluvial del material de partida y la influencia de la actividad eólica, debido a su

ubicación sobre pendientes <10% en el paisaje, que los hace altamente erosionables. Asociado a su tamaño, la cuenca con mayor diversidad en tipos de vegetación y usos fue Arroyo Seco-Barra de Navidad (AS-BN), con nueve asociaciones y usos, seguida por El Organito-El Tule (EO-ET) con cinco, y El Pedregal-San Patricio (EP-SP), la menos diversa y con mayor área de uso con cuatro (figura 4).

Con el análisis de los registros históricos de precipitación de las estaciones cercanas a la cuenca se construyeron cuatro isoyetas que atraviesan el gradiente altitudinal. Se determinó un valor de 708.3 mm como media anual y valores promedio anuales de 639.87, 620.65 y 734.35 mm acumulados para las vertientes EP-SP, EO-ET y AS-BN, respectivamente (figura 5).

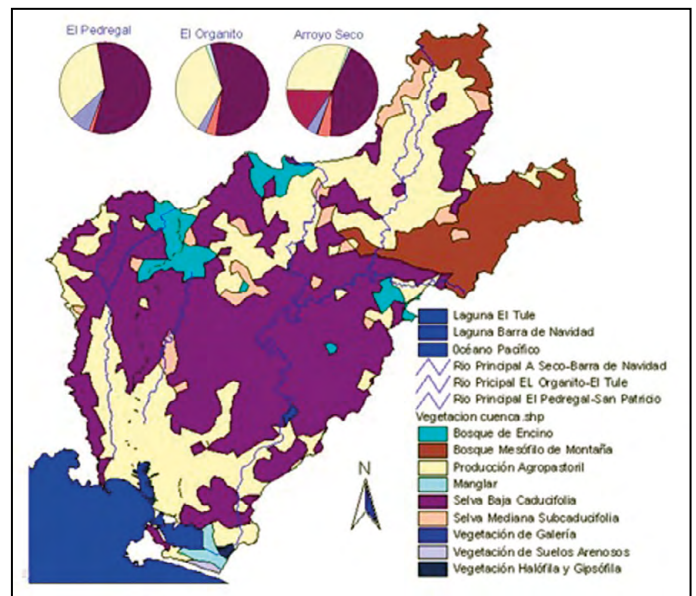


Figura 4. Mapa de asociaciones vegetales y usos de suelo de Bahía de Navidad.

Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

DISCUSIÓN

Las tres subcuencas analizadas componen una cuenca costera marginal de naturaleza vulcano sedimentario marina, cuyo origen se remonta al Jurásico superior, combinado por granitos del Cretácico superior donde se asientan importantes abanicos fluviales, ambientes palustres y lagunares y cordones litorales del Holoceno tardío (Bandy, Kostoglodov, Hurtado-Díaz, & Mena, 1999; CETENAL-INEGI, 1981; Ferrari-Pedraglio, Morán-Zenteno, & González-Torres, 2007; Méndez Linares, López Portillo,

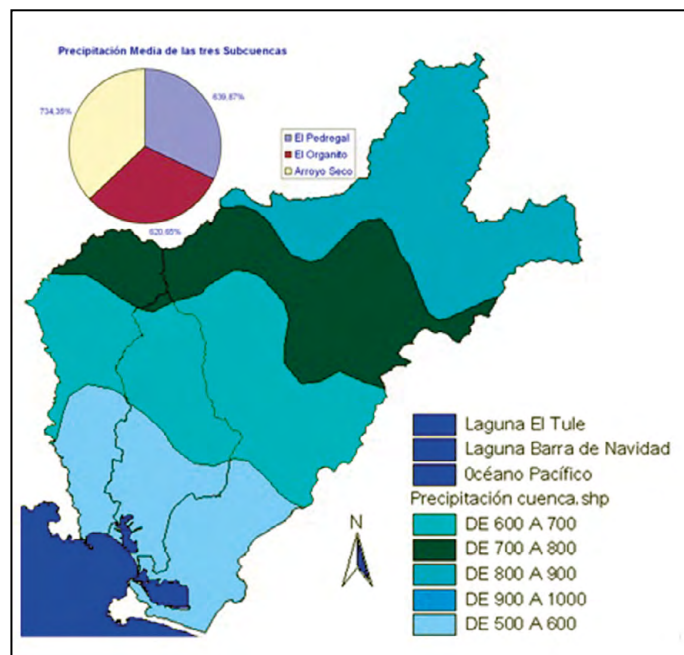


Figura 5. Distribución de la precipitación pluvial en la Cuenca Bahía de Navidad (isoyetas).
Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

Hernández Santana, Ortiz Pérez, & Oropeza Orozco, 2007). Esta conformación constituye 45% para la planicie costera (abanicos fluviales) y 55% de superficie de alto relieve con pendientes superiores a 14% (pie de monte, lomeríos y ambientes cerriles). Debido a esta conformación topográfica los suelos que se localizan en las partes altas de las cuencas son delgados (3-40 cm), por lo que son más susceptibles a los procesos de erosión, aluviones y deslaves, transporte, colmatación de cauces y azolvamiento de cuerpos de agua; mientras que en las planicies (deltas fluviales) predominan suelos más profundos, de acuerdo con su edad y naturaleza (Gonzalez-Vazquez, Silva, Mendoza, & Delgadillo-Calzadilla, 2014; Maderey-Rascón, 1990; Méndez Linares et al., 2007; Trucíos-Caciano, Estrada-Ávalos, Cerano-Paredes, & Rivera-González, 2011).

Por otro lado, la distribución de la vegetación natural en la cuenca sigue un gradiente general altitudinal, donde se observan relictos de los bosques mesófilo de montaña y de roble-encino en las partes altas más frías; mientras que las selvas se desarrollan en las partes bajas más calientes. La altura de las selvas y la condición de pérdida de hojas (caducifolia o subcaducifolia) (Gavito et al., 2014) obedece más a patrones de distribución de los nutrientes y retención de humedad del suelo, selvas

medianas subcaducifolias en cañadas; mientras las selvas bajas caducifolias se desarrollan en zonas planas bien drenadas, con suelos pobres (Gonzalez-Vazquez et al., 2014).

Las tierras con uso agrícola de riego se localizan en las llanuras aluviales costeras, mientras que los manglares se desarrollan en los abanicos deltaicos del Arroyo Seco y Río Cihuatlán, a lo largo de la zona de transición con la laguna de Barra de Navidad, que está rodeada por vegetación de dunas en la zona litoral (Holland, Mariscal-Romero, Davidson-Arnott, & Cardille, 2011; Méndez Linares et al., 2007).

Por su naturaleza temporal, las avenidas en las tres corrientes que desembocan en la Bahía de Navidad son consecuencia de importantes escurrimientos producidos por precipitaciones muy intensas, entre 150 y 300 mm en un día y/o sostenidas hasta alcanzar esos volúmenes (Pardo-Gómez & Rodríguez-López, 2014). La relación entre intensidad-duración de las lluvias y magnitud de las crecientes es directa e inmediata con incidencia en las características propias de la cuenca (Pardo-Gómez & Rodríguez-López, 2014); esta posee pendientes mayores a 10% en más de 55% del territorio y tipos de suelo poco profundos como regosol y cambisol, de textura fina, arcillosos, poco profundos y bajo contenido orgánico, que se localizan en extensas superficies. Por tales características son considerados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en Inglés) de infiltración lenta y un alto potencial de escurrimiento, además el deterioro en distintos grados de la vegetación original producido por los intensos cambios en los usos del suelo atenuan y/o potencian diferencialmente las crecidas, las cuales causan inundaciones, deslizamientos y derrumbes (Pardo-Gómez & Rodríguez-López, 2014; Richter, 1999).

Al respecto se discute que la erosión hídrica en México es uno de los problemas ambientales que más agobia a las tierras, debido a que 65% del territorio nacional tiene pendientes mayores a 10% (Trucíos-Caciano et al., 2011) de acuerdo con la conformación geomorfológica, las condiciones particulares, las escorrentías torrenciales que se presentan en verano y principios de otoño en las cuencas de este estudio, se estima un transporte de sedimentos entre 500 y 10,000 Mg por km² por año; estos volúmenes se sitúan entre los valores de erosión más altos de México (Maderey-Rascón, 1990). La precipitación de la cuenca se distribuye

conforme al gradiente altitudinal de entre cuatro para el Arroyo Seco y tres isoyetas para El Pedregal y El Organito, con un promedio anual acumulado de 708.3 mm en la temporada comprendida entre julio y octubre, principalmente.

Los valores promedio para cada vertiente El Pedregal-San Patricio, El Organito-El Tule y Arroyo Seco-Barra de Navidad son de 639.87, 620.65 y 734.35 mm, respectivamente. Se estiman también volúmenes promedio anuales de agua en 53.61, 51.24 y 253 Mm³ para las mismas cuencas, respectivamente, esto concuerda con los valores medios de la escorrentía en Arroyo Seco, que oscilan entre 500 y 1,000 mm (Jiménez & Maderey-Rascón, 1990). Estos fenómenos hidrometeorológicos constituyen los principales mecanismos entre los procesos aluviales de formación, crecimiento y modificación geomorfológica de los abanicos deltaicos en los que se asientan las zonas urbanas de la bahía (Gonzalez-Vazquez et al., 2014).

De acuerdo con la longitud y pendiente, AS-BN presenta un mayor relieve con baja pendiente promedio del cauce, que al ser comparativamente más baja que las otras, amortigua su peligrosidad por el bajo nivel de bifurcación y por tener el mayor tiempo de concentración de 70 h; sin embargo, EP-SP, con relieve de 1,020, 5.0 nivel de bifurcación y 22 h de tiempo de concentración, es una combinación que la hace altamente peligrosa; mientras que EO-ET, con altura de 840, 6.2, se definió como de características moderadas, aunque aumenta

su peligrosidad por tener el menor tiempo de concentración de las tres (14 h). Comparativamente, los parámetros calculados de forma e intensidad fluvial son diferenciales entre sí, similares en relieve, forma y circularidad entre AS-BN y EP-SP y, de esta última, con EO-ET en área, longitud, perímetro, orografía y masividad. Por otro lado, difieren de los tiempos de concentración y sobresale EP-SP por su alta densidad de drenaje.

CONCLUSIONES

Este estudio descriptivo o caracterización hidrográfica permitió conocer más algunos de los procesos de funcionamiento del complejo hidrográfico denominado Bahía de Navidad. Las tres subcuencas que integran dicho complejo pueden considerarse una sola unidad hidrográfica, aunque con características específicas diferentes por sus conexiones a nivel planicie. La cuenca El Pedregal-San Patricio (EP-SP) es la que presenta un mayor grado de peligrosidad por sus combinaciones morfológicas e hidrográficas, pues sus caudales son recibidos directamente en la zona urbana de San Patricio-Melaque, antes de su descarga al océano Pacífico. EL Organito-El Tule (EO-ET) presenta una menor peligrosidad, pero su estabilidad ecológica es fundamental y otorga las condiciones hidro-ecológicas de la laguna de El Tule. Por otro lado, la Arroyo Seco-Barra de Navidad (AS-BN) es la de mayor volumen, más extensa y compleja, determina procesos ecológicos muy importantes en toda la Bahía y en particular en la laguna de Barra de Navidad.

REFERENCIAS

- Bandy, W., Kostoglodov, V., Hurtado-Díaz, A., & Mena, M. (1999). Structure of the southern Jalisco subduction zone, Mexico, as inferred from gravity and seismicity. *Geofísica Internacional*, 38(3), 127-136.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional-Instituto Nacional de Geografía y Estadística. (1981). *Síntesis geográfica de Jalisco*. México: Autor. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220501/702825220501_1.pdf
- Ferrari-Pedraglio, L., Morán-Zenteno, D., & González-Torres, E. A. (2007). Actualización de mapa geológico de México escala 1:4,000,000. En *Nuevo Atlas Nacional de México* [Mapa]. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/publs/cgm/actualizacion2007.pdf>
- Gavito, M. E., Martínez-Yrizar, A., Ahedo, R., Araiza, S., Ayala, B., Ayala, R.,... & Siddique, I. (2014). La vulnerabilidad del socioecosistema de bosque tropical seco de Chamela, Jalisco, al cambio global: un análisis de sus componentes ecológicos y sociales. *Investigación Ambiental*, 6(2), 109-126.
- Gonzalez-Vazquez, J. A., Silva, R., Mendoza, E., & Delgadillo-Calzadilla, M. A. (2014). Towards coastal management of a degraded system: Barra de Navidad, Jalisco, Mexico. *Journal of Coastal Research*, 71 (special Issue 1), 107-113. doi: 10.2112/SI71-013.1
- Guilarte, R. (1978). *Hidrología Básica*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Holland, T. L., Mariscal-Romero, J., Davidson-Arnott, R., & Cardille, J. (2011). Landscape changes in a coastal system undergoing tourism development: implications for Barra de Navidad Lagoon, Jalisco, Mexico. *Investigaciones Geográficas*, 74, 7-18.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). *Continuo de elevaciones mexicano 3.0 (CEM 3.0)*. México: Autor. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx>
- Jiménez, R. A., & Maderey-Rascón, L. E. (1990). Escurrimiento medio anual IV.6.4, escala 1:4000,000 [Mapa]. En A. García de Fuentes (Ed.), *Atlas Nacional de México*. II. Naturaleza. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TII-IV-6-4.jpg
- Kirpich, P. Z. (1940). [Ecuación hidrológica].
- Llamas, J. M. (1993). *Hidrología General. Principios y aplicaciones*. Bilbao, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Maderey-Rascón, L. E. (1990). Volumen medio anual de sedimentos en suspensión IV.6.4, escala 1:4000,000 [Mapa]. En A. García de Fuentes (Ed.), *Atlas Nacional de México*. II. Naturaleza. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TII-IV-6-4.jpg
- Martínez-Ramos, M., Barraza, L., Balvanera, P., Benítez-Malvido, J., Bongers, F., Castillo Álvarez, A.,... & Zermeño Hernández, I. (2012). Manejo de bosques tropicales: bases científicas para la conservación, restauración y aprovechamiento de ecosistemas en paisajes rurales. *Investigación Ambiental*, 4(2), 111-129.
- Mas, J. F., Velázquez, A., & Couturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental*, 1(1), 23-39.
- Méndez Linares, A. P., López Portillo, J., Hernández Santana, J. R., Ortiz Pérez, M. A., & Oropeza Orozco, O. (2007). The mangroves communities in the Arroyo Seco deltaic fan, Jalisco, Mexico, and their relation with the geomorphic and physical-geographic zonation. *Catena*, 70(2), 127-142.
- Moberg, F., & Rönnbäck, P. (2003). Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean and Coastal Management*, 46(1-2), 27-46.
- Pardo-Gómez, R., & Rodríguez-López, Y. (2014). Clasificación de tormentas tropicales según lluvias asociadas: (2) resultados. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 35(2): 35-51. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v35n2/riha03214.pdf>
- Richter, M. (1999). Ecological crisis in Chiapas: A case study in Central America. *Mountain Research and Development*, 51(7), 370-377.
- Trucíos-Caciano, R., Estrada-Ávalos, J., Cerano-Paredes, J., & Rivera-González, M. (2011). Interpretación del cambio en vegetación y uso de suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 359-367.