ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS SCRIPTA

AÑO 2 NÚMERO 2 JULIO-DICIEMBRE, 2016

Geomorphic and Hydrographic characteristics in the San José del Cabo Basin, Baja California Sur, Mexico, as a risk factor for floods

Aspectos Geomorfológicos e Hidrográficos de la Cuenca San José del Cabo, Baja California Sur, México, como Factor de Riesgo a Inundaciones

Saúl Chávez López^{1*}, Anahí Mendoza Albañez¹

Abstract

The San José del Cabo drainage basin located in the southern tip of the State of Baja California Sur is threatened mainly by the high incidence of hurricanes. In addition to the meteorological phenomena, the geomorphological and hydrographical aspects of the basin represent a risk factor that increases flood vulnerability. In this study, widely recognized conventional geological techniques were used to identify three geomorphological units: mountain ranges, flood plains, and coastal strips, which are segmented by a dense network of intermittent dendritic drainage systems, integrating a sixth order exorheic basin. The San José del Cabo basin is funnel-shaped representing a risk factor due to its huge catchment area and reduced outlet. These characteristics along with intrinsic aspects of the basin cause heavy rains to flood the bottom plain where the San José estuary and human settlements are located showing a higher natural vulnerability to flooding.

Key words: Hurricane, Run-off, Water flow, Vulnerability, Pristine.

Resumen

La cuenca de San José del Cabo, se localiza en la porción meridional del estado de Baja California Sur, en cuya región la principal amenaza es la alta incidencia de huracanes. Adicional a los fenómenos meteorológicos, los aspectos geomorfológicos e hidrográficos de la cuenca, destacan como factor

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B. C. S., México, C. P. 23096, Teléfono: 612 1238428

* Autor Correspondencia: E-mail: schavez04@cibnor.mx

de riesgo que incrementan la vulnerabilidad a inundaciones. Para su análisis se emplean técnicas convencionales de la geología ampliamente reconocidas tanto en campo como en gabinete. Se reconocieron tres unidades geomorfológicas: sierras, planicie aluvial y franja costera, las cuales se encuentran segmentadas por una densa red de drenaje dendrítico de régimen intermitente, que en conjunto integran una cuenca exorreica de sexto orden. La forma de embudo de la cuenca destaca como factor de riesgo, por su amplia área de captación y reducida desembocadura; lo que aunado al resto de los aspectos intrínsecos de la cuenca, condicionan que durante lluvias intensas, la parte baja de la llanura aluvial en donde se ubica el poblado y estero de San José del Cabo, presente la mayor vulnerabilidad natural a ser inundada.

Palabras clave: Huracán, Esguerrimiento, Caudal, Vulnerabilidad, Prístino.

Introducción

En el estado de Baja California Sur, existen evidencias de una intensa actividad volcánica, cuyas rocas integran la orografía de la sierra de La Giganta que se extiende desde el sur del vecino estado de Baja California, hasta al suroeste de la Bahía de La Paz. De igual manera las numerosas fallas normales que afectan la región peninsular evidencian la actividad tectónica de esfuerzos extensionales, que dieron origen al Golfo y Península de California y cuya actividad continúa en la actualidad con el Sistema de Fallas de San Andrés. Sin embargo y sin dejar de considerarlos como un riesgo, ni el vulcanismo y la sismicidad, han causado tantos daños como las inundaciones por efecto de lluvias intensas asociadas a fenómenos hidrometeorológicos.

Autores como Serra (1971), Latorre y Penilla (1988) y Martínez-Gutiérrez y Mayer (2004), coinciden en que Baja California Sur, es uno de los estados de la República Mexicana con mayor probabilidad a la incidencia de huracanes; los cuales representan la amenaza principal a ocasionar inundaciones, afectando a la mayoría de los poblados que integran el estado. Aunado a esto se suma las variaciones climáticas interanuales del índice de oscilación austral (IOA); a lo que autores como Pavía y Badan (1998), Reyes-Coca y Troncoso-Gaytán (2001) y Magaña *et al.* (2003) refieren que las relaciones estadísticas indican que durante años de El Niño (ENOS), la génesis, trayectorias e intensidad de huracanes aumenta en el Pacífico. Así los poblados del Municipio de Los Cabos son los más afectados, destacando los poblados de Cabo San Lucas y San José del Cabo

al ocupar el límite sur de la península, y ser los más expuestos y primeros en recibir el impacto por la trayectoria hacia el norte de las depresiones, tormentas tropicales y huracanes, que se originan en el Océano Pacífico Oriental.

Las amenazas meteorológicas que condicionan el riesgo de inundaciones, no siempre ocasionan desastres, ya que estos son el resultado de la conjugación de diferentes factores que inciden en un tiempo y lugar determinado con una periodicidad aleatoria. Así la intensidad o magnitud del desastre se presenta en principio por la suma de la vulnerabilidad inherente al medio físico-ambiental y las características intrínsecas del fenómeno (frecuencia, magnitud, intensidad, duración, etc.) en el área donde se produce.

Lugo-Hubp (1986), refiere que un primer paso para el estudio de una región es el análisis morfológico en mapas topográficos, fotografías aéreas o imágenes satelitales, ya que a partir de las rupturas de las pendientes principales, se puede obtener altura, orientación, simetría, configuración de la red fluvial, entre otros aspectos físicos de la región a estudiar. Por su parte Gutiérrez-Elorza (2008), menciona que la combinación de la forma de la cuenca y del sistema de drenaje, influyen en la capacidad de erosión y en los máximos o picos de la inundación. En este sentido Sánchez y Batista (2005) proponen la relación entre altura del terreno e inundaciones, considerando que los terrenos que se encuentran por debajo de los 160 metros sobre el nivel medio del mar (msnm), son vulnerables a inundarse como producto de fuertes precipitaciones.

Considerando estas aseveraciones, el objetivo del presente trabajo es analizar los aspectos geomorfológicos e hidrográficos de la cuenca de San José del Cabo, como factores de riesgo a inundaciones. Esto adquiere interés debido al acelerado crecimiento poblacional y mancha urbana, así como a la importancia que dicho poblado ha adquirido en las últimas décadas como destino turístico nacional e internacional, con una dinámica socioeconómica importante para el estado.

Materiales y métodos

Como plataforma de trabajo para la elaboración de mapas, perfiles y obtención de parámetros morfométricos, se emplearon los programas de cómputo Arc-GIS versión 10.2, Surfer versión 8 y Google Earth. Para la elaboración de las bases de datos de precipitación e incidencia de huracanes, así como de gráficos se utilizó la hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2010.

El mapa base se elaboró con cartografía vectorial del Instituto Nacional de Estadística y

Geografía (INEGI), escala 1: 50,000 (San José del Cabo F12B44; Palo Escopeta F12B45; Cabo Pulmo F12B35; y Santiago F12B34), así como el Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución de quince metros. Para la delimitación y digitalización de unidades y subunidades geomorfológicas se emplearon imágenes SPOT pancromáticas del año 2010 (E564/303, E565/303, y E565/304).

El trabajo de campo se efectuó del 9 al 12 de julio de 2012 y del 25 de febrero al 1 de marzo de 2013; este trabajo consistió, en el reconocimiento y descripción de unidades y subunidades geomorfológicas de la cuenca de San José del Cabo previamente identificadas en gabinete, mediante caminatas y vistas panorámicas en áreas elevadas apoyados con un GPS MobileMapper 6 de la marca Magellan. El análisis de precipitaciones (medias mensuales, media anual y total anual) se realizó con datos por día para los años de 1926 al 2010, de las estaciones meteorológicas San José del Cabo, San Felipe y Santa Anita, cuya información fue proporcionada por la Subdirección de Asistencia Técnica Operativa de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Baja California Sur, mientras que la información de las estaciones Caduaño, Yeneka y Mangle, se obtuvo de CONAGUA en línea (<http://www.smn.cna.gob.mx/>).

La incidencia de huracanes se obtuvo con la depuración de la base de datos de las estaciones meteorológicas antes referidas, como lluvias extraordinarias y cotejadas con información proporcionada por la Subdirección de Asistencia Técnica Operativa de CONAGUA, Baja California Sur, así como la obtenida en línea en UNISYS (<http://weather.unisys.com/hurricane/>), y el Atlas de Peligros Naturales del Centro de Población de Los Cabos (Secretaría de Desarrollo Social de Los Cabos, 2006). El mapa de vulnerabilidad natural a inundaciones, se elaboró y analizó empleando los aspectos geomorfológicos, y la información generada en los apartados de hidrología superficial, análisis de precipitaciones e incidencia de huracanes, apoyados en los criterios de relación entre altura del terreno e inundaciones de Sánchez y Batista (2005) y de la combinación de forma de la cuenca y sistema de drenaje de Gutiérrez-Elorza (2008).

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la porción meridional del estado de Baja California Sur, México.

Corresponde a la cuenca hidrográfica de San José del Cabo, limitada geográficamente por las coordenadas 23° 27', 23° 01' latitud norte y por los meridianos 109° 59', 109° 32' de longitud oeste (Fig. 1). El clima en la parte alta de la cuenca (Sierra La Laguna) es templado subhúmedo,

con temperatura media anual de 14.7 °C y precipitación total anual entre 500 a 700 mm. Hacia la parte baja, el clima es muy seco y muy cálido con temperatura media anual de entre 22 a 24 °C y precipitación total anual de entre 200 a 300 mm (INEGI, 1996). Las características orográficas y climáticas, condicionan a su vez la distribución de vegetación en la región, la cual presenta condiciones ecológicas muy particulares, como el caso de la Sierra La Laguna en donde se ubica, el único bosque de pino-encino, del estado, contrastando con la vegetación tipo Matorral Sarco Crasicaule de la parte baja de la cuenca y la cual caracteriza la aridez de la mayor parte del estado de Baja California Sur (Arriaga *et al.*, 1992; INEGI, 1996).

Figura 1. Localización de la cuenca hidrográfica de San José del Cabo.

Los suelos de la Sierra La Laguna son en general someros y fácilmente erosionables, en la parte baja de la cuenca presentan una clase textural gruesa, principalmente regosoles, constituidos por materiales sin consolidar del tamaño de la arena (Cancino *et al.*, 1994). El origen de la mayoría de estos suelos es el resultado del intemperismo y erosión de las rocas de composición granítica que integran la Sierra La Laguna (Chávez-López, 2012).

De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 1999), la cuenca San José del Cabo forma parte de la subprovincia fisiográfica Discontinuidad del Cabo, la cual Ortega-Gutiérrez (1982), refiere como Complejo Cristalino de La Paz, y Aranda-Gómez y Pérez-Venzor (1995), como el Bloque de Los Cabos, cuya génesis y evolución se relaciona con el emplazamiento de los terrenos tectonoestratigráficos que conforman el Estado, y cuya porción meridional, Campa y Coney (1983) denominan como Terreno Alisitos, y Sedlock *et al.* (1993) como Terreno Pericú, integrado en dos terceras partes por rocas ígneas intrusivas del Cretácico.

Resultados

Geomorfología

Las topoformas que integran la geomorfología de la cuenca San José del Cabo son: 1) Sierras, 2) Llanura Aluvial y 3) Franja Costera (Fig. 2), todas ellas integradas a su vez por subunidades geomorfológicas de menor escala:

Sierras, se diferencia en Sierra Alta (1) y Sierra Baja (1'), las cuales estructuralmente corresponden a pilares tectónicos (*horst*) (SGM, 2008):

(1) Sierra Alta, integra la porción occidental de la cuenca, y corresponde a parte de la vertiente oriental de la Sierra La Laguna. En el área de estudio esta sierra se diferencia desde la cota de los 300 msnmm, a partir de donde las pendientes se hacen más pronunciadas con un rango de entre 30° a 68°. Las mayores elevaciones en esta porción de la cuenca, corresponden a los cerros Tezcalote con 1,500 msnmm, y Salsipuedes con 1,900 msnmm; se encuentra constituida por rocas de composición granítica del Cretácico Superior y afloramientos aislados de rocas metamórficas del Mesozoico intensamente falladas y fracturadas (Fig. 3).

Las subunidades geomorfológicas que caracterizan la Sierra Alta son:

- **Picachos**, forman las partes más elevadas de la cuenca y presentan forma irregular y pendientes abruptas.

Figura 2. Unidades geomorfológicas de la cuenca San José del Cabo.

- **Valles Intermontanos**, se forman entre las montañas en donde confluyen arroyos por lo que pueden considerarse como valles aluviales intermontanos. Un ejemplo es el área en donde se construyó la presa San Lázaro.

- **Cañadas**, corresponden a trazas de fallas con orientación noroeste-sureste, paralelas entre sí y perpendiculares al parteaguas occidental de la cuenca. Presentan pendientes pronunciadas y valles aluviales angostos que dan forma a los arroyos El Saltito, San Lázaro, San Miguelito, La

Palma, San Ignacio, Portezuelo y arroyo Boca de La Sierra, los cuales cortan la llanura aluvial para integrarse al cauce principal que corresponde al arroyo San José.

Figura 3. Geología de la cuenca de San José del Cabo (INEGI, 1996, SGM, 1999).

(1') **Sierra Baja**, integra el límite oriental de la cuenca, y corresponde a parte de la vertiente oeste de la Sierra La Trinidad (Fig. 2). Esta sierra se diferencia en el área de estudio a partir de la cota 40 msnmm, con pendiente moderada de entre 13° y 30°; presenta su mayor elevación en

el cerro El Cuete, con 620 msnmm. Se encuentra integrada por rocas sedimentarias terciarias, de las Formaciones Trinidad, Los Barriles, Refugio y el Chorro. A diferencia de la Sierra Alta, ésta se encuentra menos afectada por fallas y fracturas (Fig. 3).

Las subunidades geomorfológicas que caracterizan la Sierra Baja son:

- **Cañadas**, a diferencia de las de la porción occidental de la cuenca (Sierra Alta), éstas son menos profundas y con valles amplios. Son paralelas entre sí y perpendiculares al parteaguas de la cuenca, sus valles aluviales tienden a ampliarse conforme se aproximan a la llanura aluvial y se incorporan como tributarios al cauce principal del arroyo San José.

- **Bajada con lomeríos**, distribuida de forma irregular entre la cota de los 40 a 160 msnmm, destacan los cerros con alturas menores a los 250 msnmm, con cimas redondeadas y pendiente moderada.

(2) **Llanura Aluvial**, integra la porción central del área de estudio (Fig. 2), estructuralmente corresponde a una fosa tectónica (*graben*) limitada tajantemente al oeste con el *horst* de la Sierra Alta, mediante la falla San José y al este con el *horst* de la Sierra Baja, mediante la falla La Trinidad (Fig. 3). Presenta pendiente suave de entre 5° a 30°, y se encuentra integrada por depósitos Cuaternarios de aluvión. En esta unidad geomorfológica, destaca el cauce del arroyo principal San José, que segmenta a la Llanura Aluvial en una porción occidental y una oriental (Fig. 2).

- **Porción occidental**, tiene mayor amplitud comparada con la porción oriental, debido al desarrollo de abanicos aluviales y erosión diferencial, que dan origen a las mesas La Palma, La Palmilla y San Bernabé con elevaciones entre los 100 y 250 msnmm, compuestas de conglomerado del Cenozoico y depósitos Cuaternarios aluviales (Fig. 3).

- **Porción oriental**, se encuentra poco desarrollada, por lo que el Valle Aluvial, se encuentra limitado por la bajada con lomeríos de la unidad geomorfológica de Sierra Baja (Sierra La Trinidad), así como por los valles aluviales de los arroyos que provienen de las cañadas de dicha sierra que se integran como tributarios del arroyo San José.

- **Cerros isla** (*inselbergs*), estos se encuentran diseminados en la porción norte de la llanura aluvial, en general son de poca altura (100 – 200 msnmm) y se encuentran constituidos tanto por rocas sedimentarias (Arenisca-lutita) del Terciario, como por rocas de composición granítica del Cretácico (Fig. 3).

(3) **Franja costera**, forma el límite inferior de la cuenca, con una extensión de 4.5 km y amplitud

variable e integrada por depósitos litorales Cuaternarios. En esta unidad geomorfológica destaca el Estero San José del Cabo, por ser la porción baja de la cuenca, acotada entre la línea de costa y los 10 msnmm, con una longitud de 1.2 km, que se integra como continuidad y desembocadura del arroyo San José hacia el Golfo de California. Dicho estero corresponde a un valle aluvial inundado por agua de mar y cuyo origen se asocia a la elevación del nivel del mar del último periodo interglaciar con el cual se establece la actual línea costera del Holoceno. En el estero se encuentra vegetación acuática como tule (*Typha domingensis*), carrizo (*Arundo donax*), lentejilla de agua (*Lemna gibba*), entre otras, formando un frente irregular de islotes separados por canales intermareales con depósitos areno limosos y limo arcillosos.

Otras subunidades geomorfológicas que caracterizan la franja costera son:

- **Barrera arenosa**, presenta una longitud de 0.6 km y amplitud promedio de 40 m, su porción emergida no sobrepasa los 1.5 msnmm; cierra la desembocadura del estero por lo que en conjunto y desde el punto de vista geomorfológico corresponde a una pequeña laguna costera. El desarrollo y establecimiento de esta barrera arenosa es producto del aporte sedimentario a través de la cuenca de San José del Cabo y cuencas vecinas, así como del nivel energético del oleaje que condiciona el transporte longitudinal y transversal de sedimentos.

- **Playas**, integradas por arena de textura de gruesa a fina de color café claro, presentan pendiente suave de 13°, y se ubican a ambos extremos de la barrera arenosa.

Hidrología superficial

La cuenca San José del Cabo se encuentra formando parte de la región hidrológica RH6 Baja California Sureste, La Paz (INEGI, 1996). Su morfometría la limita el parteaguas con un perímetro de 184 km, el cual enmarca un área de 1,275 km², en forma de embudo con su mayor amplitud hacia la parte media con 40 km y menor en su desembocadura con 4.5 km (Fig. 4). La red hidrográfica en el área de estudio está integrada por un drenaje denso de régimen intermitente, de tipo dendrítico subparalelo, que de acuerdo a la estructura de bifurcación y distribución espacial de Horton-Strahler, corresponde a una cuenca exorreica de sexto orden (Fig. 4). Su corriente principal tiene un recorrido aproximado de 78 km, iniciando en la Sierra Alta (Cerro San Bernardo) a 1,580 msnmm. En sus primeros 44 km la corriente es de tercer a quinto orden, presenta pendiente de pronunciada a moderada con dirección noroeste-sureste hasta alcanzar la cota de los 140 msnmm, a cuyo tramo

se le conoce como arroyo Boca de La Sierra. A partir de aquí y hasta la línea de costa el arroyo principal es de quinto a sexto orden con dirección norte-sur, con pendiente de moderada a suave y es conocido como arroyo San José (Fig. 4).

Figura 4. Morfometría e hidrografía de la cuenca San José del Cabo, de acuerdo al orden cuantitativo de Horton-Strahler.

En el área de estudio la longitud y densidad de drenaje se encuentra influenciada por los aspectos geomorfológicos descritos anteriormente, por lo que al igual que en la descripción de las subunidades geomorfológicas de llanura aluvial, es posible diferenciar los aspectos hidrográficos teniendo como referencia al arroyo San José.

Figura 5. Modelo de pendientes y coeficientes de escurrimiento de la cuenca San José del Cabo.

De acuerdo al modelo de pendientes que se muestra en la Figura 5, encontramos que hacia la porción occidental del arroyo San José se presentan los mayores coeficientes de escurrimiento de 10 a 20%, asociados a las pendientes pronunciadas (30° - 68°) de la unidad geomorfológica de Sierra Alta, así como una mayor densidad de drenaje y los arroyos que se integran a la corriente principal presentan mayor longitud en comparación a la porción oriental donde se ubica la Sierra Baja, con pendiente moderada (13° - 30°) y coeficiente de escurrimiento de 5 a 10%, en donde la densidad de drenaje es de segundo y tercer orden, por lo que los tributarios que se integran a la corriente principal son de escaso recorrido. El cauce del arroyo Boca de La sierra y San José, que integran la corriente principal de la cuenca destaca en la llanura aluvial, presentando inicialmente pendiente pronunciada en la Sierra Alta y en la llanura de moderada a suave (13°) con un coeficiente de escurrimientos de 0 a 5% (INEGI, 1998).

Análisis de precipitaciones e incidencia de huracanes

En la Tabla I, se presenta información de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca San José del Cabo y en las Figuras 6 y 7 se presenta la ubicación de estaciones, distribución de isoyetas de precipitación media anual y la gráfica de precipitación media mensual respectivamente.

Tabla I. Ubicación de estaciones meteorológicas en la cuenca de San José del Cabo y precipitación media anual para el periodo de 1978 a 2010.

Estación	CNA clave	Latitud	Longitud	Altura (msnmm)	Prec. Media Anual (mm)
a	San José (3056)	23.0694	109.7069	40	135.7
b	San Felipe (3051)	23.1083	109.8542	380	254
c	Caduaño (3007)	23.3319	109.9472	1220	333.5
d	Yeneka (3067)	23.2708	109.7792	160	245.4
e	Santa Anita (3094)	23.1783	109.7017	80	212.6
f	Mangle (3144)	23.3458	109.6458	285	315.5

De la información de la Tabla I y Figura 7, se observa que los valores de precipitación altos son los de la estación Caduaño (3007), ubicada a 1220 msnmm, mientras que los valores bajos se reportan en la estación San José (3056) ubicada a 40 msnmm. Esta situación se observa en la tendencia de distribución de isoyetas de la Figura 6, en donde el gradiente altimétrico de la Sierra Alta (Sierra La Laguna) influye en la cantidad de lluvia que precipita en la cuenca con valor de isoyetas de 333 mm, las cuales disminuyen gradualmente a 135 mm, hacia la parte baja de la Llanura Aluvial.

Figura 6- Ubicación de estaciones meteorológicas y distribución de isoyetas de la cuenca San José del Cabo.

Así podemos asumir que la diferencia en los registros de precipitación entre las estaciones meteorológicas, aún para un mismo evento de lluvias se encuentra condicionado por el gradiente altimétrico de la unidad geomorfológica de Sierra Alta, lo cual ocasiona variaciones importantes en la temperatura, en distancias relativamente cortas, ya que según INEGI (1996), mientras en las partes altas de la sierra se presenta un clima templado subhúmedo y hacia las partes bajas en donde se ubica el poblado de San José del Cabo predomina el clima seco muy cálido.

De acuerdo a la información de la Figura 7, el periodo más lluvioso en la cuenca es de julio a

octubre, con precipitaciones promedio mensual que oscilan entre los 20 y 100 mm, destacando los meses de agosto y septiembre en los que además la probabilidad de incidencia de huracanes en la región es mayor. De noviembre a febrero se distingue otro periodo con precipitaciones menores a los 20 mm y de marzo a junio como periodo de estiaje. Esta situación es consistente con la reportada por INEGI (1996) para la región noroeste del país, con lluvias en los meses de verano y otoño, asociadas a sistemas nubosos convectivos con desarrollos verticales que precipitan grandes volúmenes de agua, que incluso llegan a convertirse en perturbaciones atmosféricas denominadas chubascos. Mientras que las lluvias invernales se asocian al sistema de alta presión semipermanente del Pacífico nororiental, así como a la influencia de la celda de alta presión de las Bermudas-Azores, y cuyas precipitaciones de menor intensidad, en la región son conocidas como equipatas.

Figura 7. Precipitación media mensual, registrada en las estaciones meteorológicas de la cuenca San José del Cabo.

Como se ha hecho notar en los apartados de introducción y área de estudio, en la cuenca San José del Cabo, pese a su aridez, han sido recurrentes las inundaciones en su parte baja. Esto debido a la incidencia de huracanes, los cuales cobran importancia como la principal amenaza y cuya temporada en el Pacífico Oriental va de mayo a noviembre. Para el presente trabajo se generó una base de datos de tormentas tropicales y huracanes formados en el periodo de 1949 al 2010, obteniendo un registro de 584 eventos. Siguiendo el criterio de Latorre y Penilla (1988), de los 584

eventos, se identificaron 92 que se acercaron a 250 km de la costa de San José del Cabo, entre los años de 1950 al 2010; por lo que para el presente trabajo se obtiene que de los huracanes formados en la cuenca oriental del Pacífico Norte, el 16 % han afectado la región de Los Cabos, lo cual representa una probabilidad de incidencia de 1.5 huracanes por año, siendo consistente con las estimaciones de Serra (1971) y Latorre y Penilla (1988).

En la Tabla II se muestra información de precipitación captada en cada una de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca durante 29 eventos, que según el Atlas de Peligros Naturales del Centro de Población de Los Cabos, son los que mayor influencia han tenido en Baja California Sur, en el periodo de 1970 al 2010. De esta información es de destacar que los registros de precipitación para cada una de las estaciones referidas, superan en su mayoría en un lapso de 24 horas a los promedios mensuales (Fig. 7), e incluso a los anuales (Tabla I, Fig. 6). De igual manera de la Tabla II se observa la condición aleatoria e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos de los cuales aunque se conozca y se acepte que los eventos ENOS incrementan las posibilidades de lluvia así como el número de huracanes, aún se desconocen los escenarios más probables de lluvias asociadas a estos fenómenos hidrometeorológicos.

Considerando lo anterior, para analizar la distribución de lluvias extraordinarias en la cuenca San José del Cabo, se emplea la información de 17 eventos reportados en la Tabla II (resaltadas en color gris), teniendo como criterio que todos estos, presentan registros de precipitación en las seis estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca entre los años de 1970 al 2010. Así la Figura 8, representa un escenario de lluvia máxima probable en un lapso de 24 horas, asociada a fenómenos hidrometeorológicos, y cuya distribución de isoyetas al igual que el de la Figura 6, indican la influencia del gradiente altimétrico de la unidad geomorfológica de Sierra Alta, con valores de precipitación de 250 mm, los cuales disminuyen gradualmente a hacia la llanura aluvial, a 208 mm. Sin embargo en este caso los valores altos de precipitación se ubican en la porción suroeste de la cuenca, lo cual concuerda con la trayectoria de los fenómenos hidrometeorológicos provenientes del Pacífico Oriental.

En la Figura 8, el grosor de las flechas representa la red hidrográfica de acuerdo a los órdenes de corrientes de Horton-Strahler, por lo que al mismo tiempo infieren su caudal y el aumento de este, conforme aumenta el orden de la corriente hacia la parte baja de la cuenca

Tabla II. Registros de precipitación de las estaciones meteorológicas de la cuenca San José del Cabo, durante las tormentas y huracanes, con influencia en B.C.S. para el periodo de 1970-2010. Depresiones Tropicales (DT), Tormentas Tropicales (T) y Huracanes (H), el número asociado en la tabla representa la categoría.

No	Nombre	Año	Cat. Impacto	a San José	b San Felipe	c Caduaño	d Yeneka	e Santa Anita	f Mangle	Total mm	Promedio mm
1	Norma	1970	DT	41	108.5	95	64.5	-	-	309.0	77.3
2	Irah	1976	H1	75	210	114	77.5	68	-	544.5	108.9
3	Liza	1976	H4	-	235	320	235	239	-	1029.0	257.3
4	Kathleen	1976	T	-	120	43	45.5	9	-	217.5	54.4
5	Doreen	1977	H	256.7	-	325	375	208	-	1164.7	291.2
6	Guillermo	1979	H	148.5	380	243.8	225	122.5	175	1294.8	215.8
7	Irwin	1981	DT	49.5	91	65	96	105	43.5	450.0	75.0
8	Lidia	1981	T	-	250	-	217	148	135.5	750.5	187.6
9	Paúl	1982	H2	268	336.5	259.5	38.5	101	242	1245.5	207.6
10	Norbert	1984	T	21	45	14.5	14	-	26.3	120.8	24.2
11	Norma	1987	DT	13.3	0	45	20	14	0	92.3	15.4
12	Kiko	1989	H3	23.5	96	28	93	55	122.9	418.4	69.7
13	Rachel	1990	T	230	-	-	-	240	124	594.0	198.0
14	Lester	1992	H	32	34	20	14	8	14.2	122.2	20.4
15	Hilary	1993	H	147.3	252	132.5	143	229.1	84	987.9	164.7
16	Henriette	1995	H2	150.5	310	184.5	194	151	229	1219.0	203.2
17	Fausto	1996	H1	150	300	293	240	204	171	1358.0	226.3
18	Nora	1997	H3	40	235	207	239	190	162	1073.0	178.8
19	Isis	1998	H	340	324	610	450	326	396	2446.0	407.7
20	Frank	1998	T	234	103	180	79	286	206.8	1088.8	181.5
21	Greg	1999	T	49	105	28	-	-	36	218.0	54.5
22	Miriam	2000	T	-	20	31	-	27	117.2	195.2	48.8
23	Juliette	2001	H	432	620	1011	743	687	660	4153.0	692.2
24	Marty	2003	H2	601	386	335	390	274	284	2270.0	378.3
25	Ignacio	2003	H2	147.5	198	148	500	111	189.5	1294.0	215.7
26	Otis	2005	H	7.5	0	51	0	8	81.1	147.6	24.6
27	Henriette	2007	H	214	262	214	309	168	282.5	1449.5	241.6
28	Lowell	2008	T	115	178	115	70	145	132.5	755.5	125.9
29	Georgette	2010	T	71	-	60	50	70	72.2	323.2	64.6

Figura 8. Escenario de lluvia máxima probable en un lapso de 24 horas en la cuenca San José del Cabo.

Discusión

De acuerdo a la información presentada, empleando el modelo digital de elevación (MDE) de la Figura 9, es posible diferenciar la cuenca San José del Cabo, en función de sus aspectos geomorfológicos e hidrográficos como factores que incrementan el riesgo a inundaciones en la llanura aluvial, durante eventos de lluvias intensas. En el MDE destacan la forma de embudo de la cuenca, las unidades geomorfológicas de sierras y planicie aluvial, así como la red de drenaje

que desemboca al Golfo de California, integrando en su conjunto una cuenca exorreica de régimen intermitente de sexto orden. En este contexto y como parte de los aspectos geomorfológicos resulta importante destacar la forma de la cuenca ya que como se apunta en la introducción, en combinación con el sistema de drenaje, influyen en la capacidad de erosión y en los máximos o picos de la inundación (Gutiérrez-Elorza, 2008). De esta manera una vez que la precipitación llega al suelo, la conversión en el flujo dependerá de las características físicas de la cuenca y de su red de drenaje fluvial. Consecuentemente la forma de embudo de la cuenca con una alta densidad de drenaje y pendientes de pronunciadas a moderadas, le confiere durante eventos de lluvias intensas una mayor capacidad de captación de agua, una respuesta rápida de los escurrimientos hacia la parte baja de la cuenca (Figs. 4, 5, y 8), en donde el efecto de embudo tenderá a generar la acumulación de los escurrimientos provenientes del resto de la cuenca y al mismo tiempo el aumento de caudal y velocidad de la corriente principal. De esta manera los aspectos geomorfológicos de la Sierra Alta cobran importancia como factor de riesgo al estar integrada por rocas graníticas impermeables y pendientes pronunciadas, lo que durante episodios de lluvias intensas condiciona poca o nula filtración de agua al subsuelo y un mayor volumen y velocidad de escurrimientos de agua superficial, por lo tanto una respuesta rápida de la esorrentía. Mientras que los aspectos geomorfológicos de la zona de Sierra Baja en donde predominan las rocas sedimentarias permeables y pendientes moderadas, es de esperar, menores escurrimientos, sin embargo esto no le resta importancia como factores a incrementar el riesgo a inundaciones, puesto que sus escurrimientos se suman a los de la Sierra Alta incidiendo en la parte baja de la Llanura Aluvial (Figs. 3, 8). Así la Llanura Aluvial aún con un coeficiente de escurrimiento bajo y una litología de depósitos Cuaternarios con alta permeabilidad, presenta una mayor vulnerabilidad natural a ser inundada. Adicionalmente a estos aspectos destaca en la desembocadura de la cuenca, el bajo relieve topográfico del Estero San José (Franja Costera) en cuya área durante una tormenta tropical o huracán, tenderá a aumentar la superficie inundable, puesto que adicional a la esorrentía proveniente del interior de la cuenca, se suma el agua de mar que se introduce hacia tierra por el efecto de la marea de tormenta. Dicha vulnerabilidad natural se destaca en la Figura 9, empleando la relación entre altura del terreno e inundaciones de la Tabla III, y cuya relación es consistente con los aspectos geomorfológicos descritos anteriormente, puesto que un terreno de bajo relieve topográfico y poca pendiente estará más expuesto a ser inundado (Figs. 5 y 8).

Tabla III. Vulnerabilidad a inundación natural según su altura sobre el nivel del mar (Sánchez y Batista, 2005).

Altura (m)	Característica
0 – 20	Intensamente inundable
20 – 40	Muy Inundable
40 – 80	Inundable
80 – 120	Medianamente Inundable
120 – 160	Poco Inundable
Más de 160	No Inundable

Figura 9. Modelo digital de elevación de la cuenca San José del Cabo, y polígonos de vulnerabilidad a inundaciones según Sánchez y Batista (2005).

En la Figura 9 se indica que los rangos de intensamente inundable a inundable (0 - 80 msnmm), se encuentran asociados al tramo de la corriente de sexto orden del arroyo San José (Fig. 4), por lo que al analizar la Figura 8, se hace evidente que el caudal y velocidad de la corriente de agua que puede llegarse a formar en el cauce del arroyo principal durante un evento de lluvia, puede ser lo suficientemente importante como para poder desbordarse e inundar la llanura aluvial, lo cual dependerá a su vez de la intensidad y duración de la lluvia.

Conclusiones

La cuenca San José del Cabo se encuentra en una situación geográfica de alta incidencia a depresiones, tormentas tropicales y huracanes, por lo que aunado a sus aspectos geomorfológicos e hidrográficos, condicionan que la parte baja de la llanura aluvial presente una vulnerabilidad natural a ser inundada. Por consiguiente la Figura 9 presenta el mapa de vulnerabilidad natural a inundaciones en la cuenca San José del Cabo y al mismo tiempo representa el escenario en condiciones prístinas, en donde hablar de los fenómenos meteorológicos como amenaza resulta un tanto difícil, ya que estos como parte de los agentes exógenos energéticos han incidido en la región mucho antes de la fundación de la misión de San José del Cabo Añuití (1730). Por lo tanto, ante este escenario los efectos de los fenómenos hidrometeorológicos en la cuenca San José del Cabo, se presentan como procesos de remodelación ambiental en tiempo-espacio. Así, en dicha remodelación, los cambios más evidentes de la cuenca se presentan en sus ambientes costeros, al ser una zona de ecosistemas intermedios sometidos al intercambio energético entre atmósfera, tierra y océano, por lo que es un medio de ecosistemas jóvenes con un equilibrio muy inestable tanto en condiciones naturales, como bajo la influencia de la actividad antrópica. De esta manera podemos asumir que los términos amenaza, riesgo, vulnerabilidad y desastre, adquieren importancia a partir de la fundación de la misión de San José del Cabo, ya que aún cuando dichos términos han adquirido acepciones y dimensiones más amplias por la influencia de los movimientos ecologistas, estos se aplican en general con un sesgo antropocéntrico. De aquí que se habla de la existencia de un vínculo entre desastres y cuencas hidrográficas, lo cual ha llevado en las últimas décadas a ser analizado como manejo de cuencas y gestión del riesgo a desastres, en donde el análisis de las características físicas de las cuencas son la base tanto para el diagnóstico como para la gestión de uso y manejo sustentable de las cuencas.

Agradecimientos

Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms. C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del Abstract.

Literatura citada

- Aranda-Gómez, J. y J. Pérez-Venzor. 1995. *Reconocimiento geológico en el límite occidental del bloque de los Cabos, Baja California Sur*. Resúmenes 3ª Reunión internacional sobre geología de la península de Baja California. La Paz, Baja California Sur, México.
- Arriaga, L., R. Coria, y R. Bastida-Zavala. 1992. *La Sierra de La Laguna Fundamentos para apoyar la creación de una Reserva de la Biosfera*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, Baja California Sur, México. 15 pp.
- Campa, M. y P. Coney. 1983. *Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico*. Canadian Journal of Earth sciences (20): 1040-1050.
- Cancino J., F. Salinas, Y. Maya, R. Coria, J. León, R. Rodríguez, R. Aguilar y L. Arriaga 1994. *Contexto Local*. pp: 41-60. En: Arriaga, L. (Ed.). Estrategia para la conservación de la sierra de La Laguna. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, Baja California Sur, México. 137 pp.
- Chávez-López, S. 2012. *Recursos Geohidrológicos*. pp.251-268. En: Ortega-Rubio, A. Lagunas-Vázquez, M. Beltrán-Morales, L.(Eds.). Evaluación Biológica y Ecológica de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: Avances y Retos. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, B.C.S, México. 420 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2012. Normales climatológicas por Estación. Consultado: 20-05- 2012. En: <http://www.smn.cna.gob.mx/>.
- Gutiérrez- Elorza, M. 2008. *Geomorfología*. Prentice Hall. Madrid, España. 920 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1996. *Estudio Hidrológico del Estado de Baja California Sur*. INEGI. Aguascalientes, México. 205 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1998. *Carta de hidrología superficial de San José del Cabo. F12-2-3-5-6. Baja California Sur*. Mapa esc. 1:250,000.
- Latorre, D. y L. Penilla. 1988. *Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur*.

- Atmósfera. (1): 99-112.
- Lugo-Hubp, J. 1986. *Los métodos geomorfológicos*. Revista de Geografía. 1(1): 13-26.
- Magaña, V., J. Vázquez, J. Pérez y J. B. Pérez. 2003. *Impact of El Niño on precipitation in Mexico*. Geofísica Internacional. 3 (42): 313-330.
- Martínez-Gutiérrez, G. y L. Mayer. 2004. *Huracanes en Baja California, México, y sus implicaciones en la sedimentación en el Golfo de California*. Geos. 1 (24): 57-64.
- Ortega-Gutiérrez, F. 1982. *Evolución magmática y metamórfica del complejo cristalino de la Paz, B. C. S.* Resúmenes 6ª Convención Geológica Nacional Sociedad Geológica Mexicana, D. F. México.
- Pavía, G. E. y A. Badan. 1998. *ENSO modulates rainfall in the Mediterranean Californias*. Gheophysical Research Letters. 20(25); 3855-3858.
- Reyes-Coca, S. y R. Troncoso-Gaytán. 2001. *El Niño Oscilación del Sur" y los fenómenos hidrometeorológicos en Baja California: el evento de 1997/98*. Ciencia Pesquera. (15): 89-96.
- Sánchez, M. y L. Batista. 2005. *Evaluación del peligro y vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones. Cuenca del Cauto. Cuba*. Mapping. (102): 88-94.
- Secretaría de Desarrollo Social de Los Cabos, B.C.S. 2006. *Atlas de peligros naturales del centro de población de Los Cabos*. Ayuntamiento de los Cabos, B. C. S. México. 83 pp.
- Sedlock, R., F. Ortega-Gutiérrez y R. Speed. 1993. *Tectono-Stratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico*. Geological Society of América, Special Paper (278): 153 pp.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). 1999. *Monografía Geológica-Minera del Estado de Baja California Sur*. Consejo de Recursos Minerales. Pachuca, México. 237 pp.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). 2008. *Carta Geológico-Minera San José del Cabo F12-B44 Baja California Sur*. Mapa esc. 1:50 000.
- Serra, C. S. 1971. *Hurricanes and Tropical Storms of the West Coast of Mexico*. Monthly Weather Review. 4 (99): 302-308.
- UNISYS weather. 2012. *Hurricane/Tropical Data*. Consultado: 20-09-2012. En: <http://weather.unisys.com/hurricane/>.

Cita

Chávez López S. y A. Mendoza Albañez. 2016. Aspectos Geomorfológicos e Hidrográficos de la Cuenca San José del Cabo, Baja California Sur, México, como Factor de Riesgo a Inundaciones. *Áreas Naturales Protegidas Scripta* 2016. Vol. 2 (2): 103-126. <https://doi.org/10.18242/anpscripta.2016.02.02.02.0006>

Sometido: 14 de julio de 2016

Revisado: 07 de noviembre de 2016

Aceptado: 29 de noviembre de 2016

Editor asociado: Dr. Alejandro Maeda Martínez

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández