

Efecto antrópico en la geomorfología y morfodinámica de la franja costera de la Laguna de La Paz, Baja California Sur, México

Anthropic effects on the geomorphology and morphodynamics of the coastal zone of La Paz lagoon, Baja California Sur, Mexico

Saúl Chávez López*

Recibido: 11/02/2020. Aprobado: 14/07/2020. Publicado (en línea): 27/10/2020.

Resumen. La ciudad de La Paz no ha sido ajena a las tendencias de crecimiento poblacional que se han dado en las regiones costeras. Crecimiento que se hace evidente a partir de la década de los años noventa del siglo pasado, motivado por una economía basada en la actividad turística, y que se refleja en el acelerado y desordenado incremento de su área urbana. En este contexto se plantea como objetivo analizar el efecto antrópico en la franja y borde costero de la laguna de La Paz, empleando para ello las metodologías de cambios geomorfológicos y morfodinámicos. En el área de estudio se reconocen dos unidades geomorfológicas: llanura aluvial y franja costera, ambas sometidas a una creciente actividad antrópica, lo que genera importantes cambios inherentes al urbanismo. El efecto en la franja costera se refleja con la alteración y pérdida parcial o total de ecosistemas costeros, debido a la construcción de infraestructura turística. Al mismo tiempo, en la llanura aluvial el incremento progresivo del área urbana ha reducido el área de escurrimiento efectivo y aporte sedimentario, modificando el balance que dio origen a los ambientes costeros, ocasionando que las condiciones por falta de material cambien lo suficiente como para reflejarse en la erosión de su línea de costa, que, en una extensión perimetral de 7.1 km en el periodo de 1973 al 2017, registra una tasa de retroceso de -0.00227 km^2 en 44 años (0.3 m/año).

Palabras clave: geomorfología, morfodinámica, área urbana, remodelación, erosión.

Abstract. The aridity and geographic isolation of the region currently occupied by the State of Baja California Sur have determined its status as a sparsely populated region for most of its history, which has allowed the ecosystems therein to remain pristine or little impacted. Nevertheless, the State has not been immune to the global trend of vigorous population growth in coastal regions. This trend became evident in La Paz city since the 1990s (population as of 1995: 158,800; as of 2015: 253,021 inhabitants), caused by a tourism-driven economy that has led to accelerated, unplanned urban sprawling (urban area as of 1995: 44.7 km^2 ; as of 2017: 85.7 km^2). The objective of this study was to identify and analyze anthropic effects on the geomorphology and morphodynamics of the coastal zone, starting with the geomorphological reconstruction of the likely original conditions, followed by an analysis of the population growth and economic activities leading to urban expansion, to finally elucidating their effects on and the evolutionary response of the coastal zone. We used linear regression methods for analyzing geomorphological and morphodynamic changes from historical documents, particularly those that are, or can be, georeferenced such as maps, aerial photographs, and satellite images. This allows utilizing both methods over long-term, large (kilometer) spatial scales. Linear regression methods used all the shoreline location data points available to identify changes over time and estimate evolutionary rates. One distinctive advantage of linear regressions is the possibility of using coastlines as

* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, 23096, La Paz, B.C.S. México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5427-8337>. Email: schavez04@cibnor.mx

delineated from aerial photographs or historical maps, since beach profiles encompassing long-term, large (kilometer) spatial scales are usually not available.

The study area comprises two distinct geomorphological units — the alluvial plain and the coastal zone — subject to increasing anthropic activity as evidenced by urban expansion over time. This affects the geomorphological environment, causing major changes in the physical environment, such as fragmentation in parcels and streets, deforestation, and land leveling, as well as the diversion and filling of streambeds. The direct effects of anthropogenic activities on the coastal zone lead to the alteration and partial or total loss of coastal ecosystems such as coastal plains, marshes, mangrove swamps, beaches, and dunes, caused by the construction of tourism infrastructure including hotels, marinas, docks, golf courses, and buildings ranging from residential areas to car junkyards. At the same time, the effects of human activities on the alluvial plain indirectly impact the coastal zone through the reduction of the effective runoff area caused by unabated urban expansion. This, in turn, impairs the sedimentary balance that gave rise to alluvial coastal environments, in which the intensity of the

dynamic agents (such as wind, tides, and waves) acting on the coastal zone remained constant. These agents have been acting with the same intensity but, in the absence of sedimentary material, conditions have changed sufficiently to affect the morphodynamics of the coastal fringe of the La Paz lagoon. The evolutionary trend of the La Paz lagoon shows that it has experienced an erosive process at a rate of 0.00227 km² over 44 years (from 1973 to 2017, or 0.3 m/year). Paradoxically, the poor or nil urban growth planning is not only causing the loss of the resources that support tourism activities, but is also exacerbating the vulnerability to flooding events in La Paz city and surrounding suburbs. Therefore, it is crucial to properly weigh the benefits of continuing building hotels, marinas, golf courses, residential areas, and other types of infrastructure, versus those of conserving marshes, mangrove swamps, beaches, and dunes, whose proper use and management would contribute to the sustainable economic and environmental development of the region.

Keywords: geomorphology, morphodynamics, urban area, remodeling, erosion.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones de aridez y aislamiento geográfico del actual estado de Baja California Sur condicionaron que en la mayor parte de su historia fuese una región poco poblada, por lo que los ecosistemas que lo conforman se mantuvieron prístinos o poco impactados. Sin embargo, la entidad no ha sido ajena a la tendencia de crecimiento poblacional que se ha dado en las regiones costeras a nivel mundial. De Andrés y Barragán (2016, pp. 66-72) refieren que alrededor del 40% de la población mundial se concentra en lo que denominan ciudades y aglomeraciones costeras (CAC), las cuales pasaron de 472 en 1945 a 2129 en 2012. Por su parte, Azuz y Rivera (2009, p. 78), mencionan que en la República mexicana la población total de los 156 municipios con frente litoral en 2005 era cercana a 16 millones de habitantes, lo que representó el 34% de la población de los 17 estados costeros y 15% de los habitantes del país.

En el estado de Baja California Sur, a partir de la década de los años ochenta del siglo pasado, la población ha aumentado de forma acelerada, pasando de contar en 1980 con 215 139 habitantes a 763 929 en 2015, de los cuales el 86% se concentra en sus principales ciudades (INEGI, 2018).

La tendencia de aumento poblacional en la

ciudad de La Paz se mantiene y con ella el incremento indiscriminado de su área urbana, contexto en el que se plantea como objetivo de este trabajo analizar el efecto antrópico en la geomorfología y morfodinámica de la franja costera de la laguna de La Paz. Justificado por la progresiva intensificación de actividades productivas, tanto en la franja costera como alejadas de ella, en cuya dinámica ha ido en aumento la presión sobre sus ecosistemas, que se traduce en alteraciones ambientales y en la disminución o pérdida de servicios ecosistémicos, como los que brindan las áreas de manglar. Desde una perspectiva socioeconómica, la fragmentación o pérdida de los ambientes costeros (marismas, manglares, playas y dunas), reducen las opciones de su uso y manejo con miras a un desarrollo sustentable.

ÁREA DE ESTUDIO

Se ubica en la porción sur de la península de Baja California (Figura 1), corresponde a la franja costera que bordea a la ensenada de La Paz, en cuya periferia se asienta la ciudad del mismo nombre y su zona conurbada, integrada por los poblados de Chametla, El Centenario y El Comitán.

Desde el punto de vista geomorfológico corresponde a una laguna costera, separada de la bahía

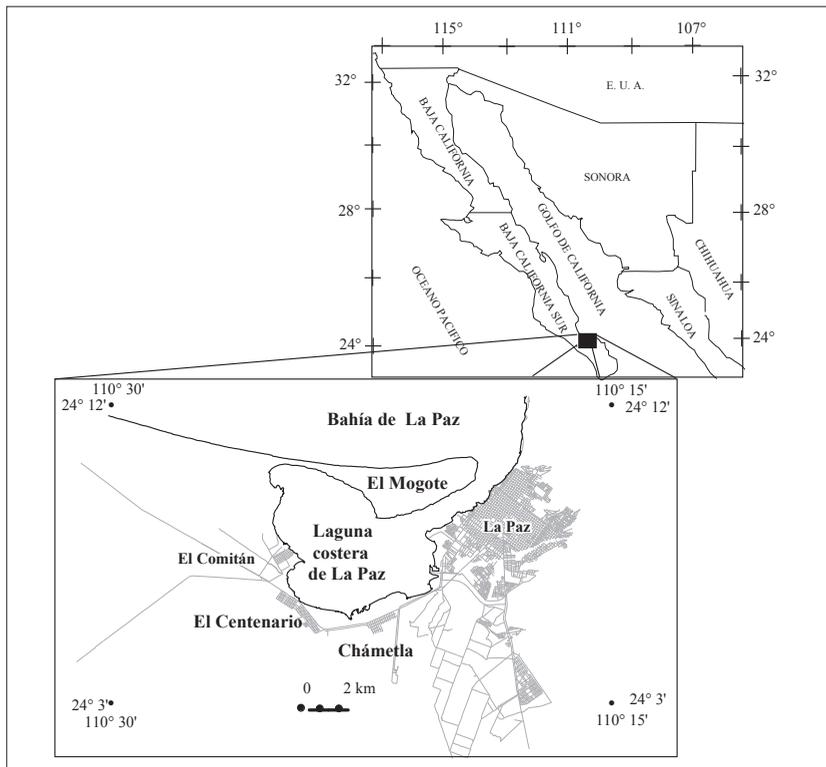


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio (elaboración propia).

del mismo nombre, por una barrera arenosa (flecha de barrera) conocida como El Mogote. El cuerpo lagunar tiene una superficie de 52 km², las mayores profundidades (8 m) se registran como depresiones aisladas al interior de la laguna, así como en su canal principal con el que mantiene comunicación permanente con la bahía. La marea es mixta semi-diurna con amplitud de 0.52 m, llegando a alcanzar 1.24 m durante mareas sicigias (SMN, 2018). El oleaje es de tipo local generado en invierno por vientos persistentes del noroeste y norte, de 0.05 m de amplitud y 2 segundos de periodo (Jiménez y Obeso, 1990, p. 386). En verano predominan vientos del sureste y son poco intensos, por lo que el oleaje es poco significativo, excepto el causado por vientos intensos asociados a la ocurrencia de huracanes entre los meses de agosto a septiembre (Chávez y Mendoza, 2016, p. 117), por lo que la hidrodinámica en la laguna se encuentra controlada por corrientes de flujo y reflujo de marea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como plataforma de trabajo se empleó el software MapInfo 9.5 y para los datos estadísticos y la elaboración de gráficos la hoja de cálculo Excel 2007.

El mapa base se armó con cartas raster y vectoriales de INEGI (1993 a, b, c, d), escala 1: 50 000, cuya línea de costa se encuentra referenciada al nivel medio del mar (nmm).

En el trabajo se emplearon las metodologías de cambios geomorfológicos (U.S. Army, 1995) y morfodinámicos (regresión lineal), que requieren documentos históricos, destacando los mapas, fotografías aéreas e imágenes de satélite, que permiten abordar ambas metodologías a escalas temporales de largo plazo (décadas a centenares de años) y espaciales del orden de kilómetros (Sánchez y Jiménez, 1994, p. 99).

El método de regresión lineal (RL) utiliza la totalidad de las posiciones de línea de orilla disponibles para identificar variaciones en el comportamiento a lo largo del tiempo, y se obtiene la tasa

evolutiva mediante regresión lineal por mínimos cuadrados, utilizando el desplazamiento de la línea de costa como variable dependiente. Su ventaja radica en que, al utilizar todos los datos existentes, tiene en cuenta variaciones en el comportamiento a lo largo del tiempo y filtra las oscilaciones de corto período (Jiménez *et al.*, 2000). Otra ventaja al utilizar líneas de costa obtenidas a partir de fotografías aéreas o mapas históricos radica en que generalmente se carece de perfiles de playa que cubran escalas de largo plazo y espaciales del orden de kilómetros (Jiménez, 1996).

Para el trabajo se digitalizaron líneas de costa empleando fotografías aéreas de 1973 de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL, 1973), cartas topográficas raster de INEGI (1978 a, b, c, d), cartas vectoriales de INEGI (1993 a, b, c, d), planos del año 2000 (a, b, c) del catastro municipal, proporcionados por el H.XI. Ayuntamiento de La Paz, imagen SPOT del año 2010 (SPOT, 2010) e imágenes tomadas de Google Earth (2019) para 2017. Tanto los mosaicos de fotografías aéreas como las imágenes de satélite se corrigieron con apoyo de puntos de control del mapa base, reconocibles tanto en campo como en las fotografías aéreas e imágenes de satélite, con la finalidad de que las líneas de costa digitalizadas para cada año pudieran ser referidas a la del mapa base (nmm).

Con las líneas de costa digitalizadas, y una línea de referencia arbitraria perimetral (31.31 km), se trazaron polígonos para obtener el área de referencia para cada año, que se sobrepusieron para observar los cambios espacio-temporales en la línea de costa y estimar sus tasas evolutivas para cada intervalo de tiempo empleando el método de RL.

Para la reconstrucción geomorfológica y delimitación de unidades geomorfológicas se empleó el mapa base, así como las fotografías aéreas del año de 1973 de CETENAL, imagen SPOT del año 2010, y los planos de la ciudad de La Paz, para los años 1886, 1907, 1932, 1944, 1965, 1973, 1981 y 1993, presentados en INEGI (2000), cuya información fue verificada durante los trabajos de campo del 19 al 23 de marzo, del 10 al 12 de septiembre y del 6 al 10 de octubre de 2018, empleando para ello un sistema de posicionamiento

global (GPS, iQue M5). Con dicha información, aunada a las cartas topográficas raster de INEGI (1978 a, b, c, d), planos del año 2000, e imágenes tomadas de Google Earth para 2017, se analizó el incremento del área urbana y zona conurbada de la ciudad de La Paz.

Para el crecimiento demográfico y actividad económica, se empleó información de los censos y conteos poblacionales, a partir del año de 1895 al 2010 (INEGI, 2017), así como la del Gobierno del Estado de Baja California Sur (GEBCS, 2001, 2002 a, b, 2003 a, b, 2011 a, 2013, 2015 y 2017).

RESULTADOS

Geomorfología

La Figura 2 muestra la reconstrucción geomorfológica como escenario del área de estudio en condiciones prístinas, en donde se reconocen dos unidades geomorfológicas: llanura aluvial (I) y franja costera (II):

I) Llanura aluvial. Se extiende desde la cota de los 300 metros sobre el nivel medio del mar (msnm) hasta la franja costera (10 msnm); limita al suroeste y sureste con la bajada de las sierras Los Filos del Treinta y Cinco y Las Cruces, respectivamente. Su geomorfología es de abanicos aluviales, que forman una amplia llanura aluvial integrada por depósitos cuaternarios; su relieve se ve interrumpido por cerros aislados (*inselberg*) que no superan los 300 metros de altura, así como por arroyos de régimen intermitente.

Esta unidad geomorfológica corresponde al principal suministro sedimentario hacia la franja costera, contribuyendo a la génesis de sus ambientes de depósito; consecuentemente, tiene un rol fundamental en el balance sedimentario, que se traduce en la evolución y conservación de los ambientes costeros.

II) Franja costera. Es de amplitud irregular, se extiende desde la cota de los 10 msnm, hasta la línea de costa, bordeando el cuerpo de agua de la laguna de La Paz, en donde destaca la flecha de barrera El Mogote.

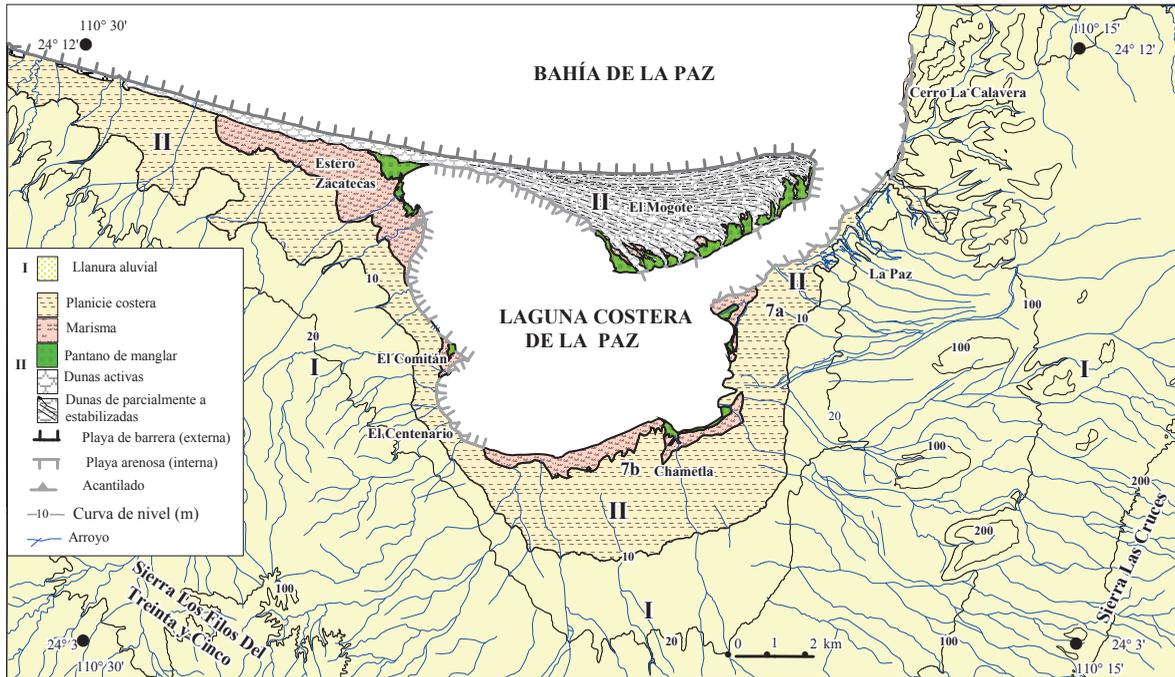


Figura 2. Reconstrucción de unidades geomorfológicas en la región costera de la laguna de La Paz (elaboración propia).

Se encuentra integrada por subunidades geomorfológicas de planicie costera, marisma, pantanos de manglar, playas arenosas, dunas, acantilados.

Planicie costera. Se extiende como continuidad de la llanura aluvial. Su límite superior (10 msnm) infiere la antigua línea de costa; se encuentra integrada por sedimentos areno-limosos; durante mareas vivas (*sicigias*) las áreas adyacentes a la zona de marismas llegan a inundarse con un espejo de agua de 0.10 m.

Marismas y pantanos de manglar. Se encuentran sujetos a los efectos de la marea (pleamar-bajamar), diseminadas y formando parte del borde costero lagunar, los sedimentos en estos ambientes son limo-arcilloso; el mejor desarrollo y conservación de estos ambientes de depósito se encuentra al noroeste de la laguna, en el área conocida como estero Zacatecas.

Flecha de barrera (El Mogote). Tiene una longitud de 11.5 km, con un área de 15.8 km², su porción más angosta es de 0.29 km y la más ancha 2.6 km; presenta un desarrollo sedimentario en dirección de oeste a este, evidenciado por cor-

dones de dunas paralelos, que infieren diferentes posiciones que ha tomado durante su desarrollo, así como la dirección del transporte longitudinal de sedimentos. Hacia la parte interna del lóbulo se forma un contorno irregular en estructuras en forma de “dedos” (*beach ridges*), entre los cuales quedan pequeñas planicies de inundación colonizadas por manglar (*lucios*), importantes dentro de los ecosistemas costeros como áreas altamente productivas, además de funcionar como trampas de sedimentos. Estos ambientes se caracterizan por encontrarse en áreas someras, compuestos por sedimentos limo-arcillosos con abundante materia orgánica; sus sedimentos de texturas muy finas indican ambientes de baja energía sujetos a los cambios de nivel del mar por efecto de la marea.

Playas arenosas. Su mejor desarrollo se presenta hacia la cara exterior de la flecha de barrera, forma un contorno recto, compuestas por arenas de textura de media a fina y tonalidad gris claro, que se encuentran sometidas a la acción del oleaje causante del transporte longitudinal y transversal de sedimentos que se genera en la bahía de La Paz.

Hacia el contorno interno y porción más angosta de la flecha de barrera se encuentran playas que, a diferencia de las externas, están compuestas por arena de textura fina y limo, como efecto de su protección a la acción del oleaje. Otro tramo de playa arenosa se ubica frente a lo que actualmente es el poblado El Comitán, formando una pequeña barrera arenosa triangular (*cuspada*), así como frente al poblado El Centenario y frente al malecón de la ciudad de La Paz (Paseo Álvaro Obregón); las playas de los poblados El Comitán y El Centenario se integran por arena de textura de media a fina y tonalidades gris claro, mientras que las de la ciudad de La Paz actualmente se encuentran compuestas por arenas de textura de gruesa a media y tonalidades de café claro, debido a que este tramo de playa se regenera artificialmente. Estas playas se ven modificadas por los efectos de flujo y reflujos de marea, así como por el oleaje que llega a formarse dentro de la laguna por la acción del viento proveniente del noroeste y norte en invierno y eventualmente por el oleaje de tormenta en temporada de huracanes.

Dunas. Integran la parte emergida de la flecha de barrera (EL Mogote), forman campos de dunas multidireccionales, que presentan diferentes estados de desarrollo, que van de activas a estabilizadas. Las activas se encuentran en la porción más angosta de la barrera, con un mejor desarrollo alcanzando alturas de 10 msnm; en general se encuentran compuestas por arenas de textura fina bien clasificada, debido a un transporte eólico selectivo. Las dunas de parcialmente a estabilizadas integran los cordones de dunas que dan forma al lóbulo de la barrera (porción más ancha), sin aparente movimiento lateral e incremento vertical, condicionado por un mayor contenido de limos y arcillas (sedimentos cohesivos) así como por el establecimiento de vegetación, cuyas raíces contribuyen a su estabilización.

Acantilados. Se ubican hacia la porción noreste de la franja costera, desarrollados por la cercanía del cerro de La Calavera a la línea de costa, el cual está formado por rocas volcánicas. A diferencia del resto de las subunidades costeras descritas anteriormente (acumulativas o constructivas), este tipo de costa es tipificada como destructiva y resulta difícil identificar sus cambios en escalas de tiempo de décadas.

De la información anterior es importante

mencionar que las playas y barreras arenosas son elementos típicos de costas sedimentarias, en cuya génesis se requiere de abundante material sedimentario y una dinámica litoral lo suficientemente intensa para generar el transporte longitudinal de sedimentos que mantienen su evolución y conservación. Por lo que, entre el suministro sedimentario y la dinámica litoral, se establece el balance sedimentario, el cual en regiones áridas, como en el presente caso, es muy vulnerable a ser modificado, puesto que el suministro potencial de sedimentos hacia la franja costera se da de manera aleatoria, asociado a escurrimientos torrenciales a través de la llanura aluvial y arroyos, como efecto de lluvias intensas asociadas a huracanes.

ACTIVIDAD ANTRÓPICA (ACTIVIDAD ECONÓMICA, CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO Y ÁREA URBANA)

En este apartado se hace uso de manera sucinta de los aspectos que han contribuido a generar el contexto socioeconómico, con el cual se ha incentivado el crecimiento poblacional e incremento del área urbana de la ciudad de La Paz y zona conurbada.

Según INEGI (2000), en 1861 se formaliza el contrato para la elaboración del plano de la ciudad de La Paz, cuya área urbana para el año de 1886 abarcaba 2.71 km², y su población en 1895 era de 4737 residentes.

Hasta el año de 1960, la actividad económica en la región peninsular y ciudad de La Paz se concentraba principalmente en actividades del sector primario, y en menor proporción, en las del sector secundario, cuya reconversión se da de manera tajante en la década de los años setenta del siglo pasado, a actividades del sector terciario (Figura 3).

Dicho contexto económico se da como resultado de iniciativas políticas e implementación de infraestructura, que condicionaron el crecimiento poblacional e incremento del área urbana de La Paz, enmarcado en cambios de categoría político-administrativa: de Distrito Sur a Territorio Sur en 1931 y a Estado de Baja California Sur en 1974.

De acuerdo con la información de la Figura 4, a partir de 1940 se da un mayor crecimiento po-

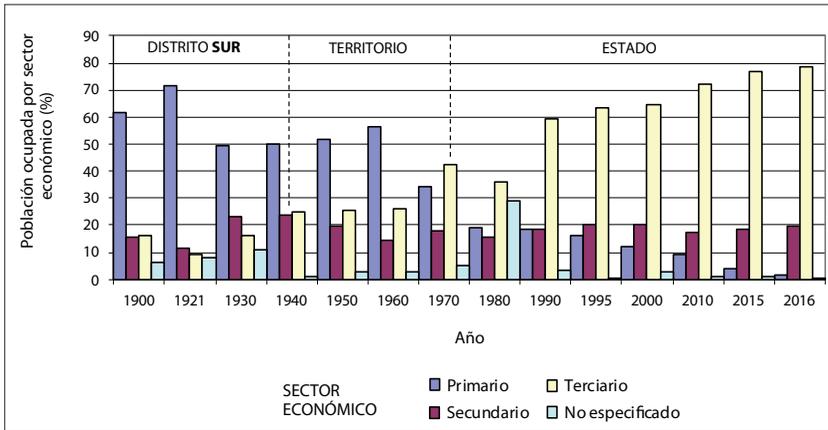


Figura 3. Actividad económica por sector en la ciudad de La Paz y zona conurbada 1900-2016 (elaboración propia).

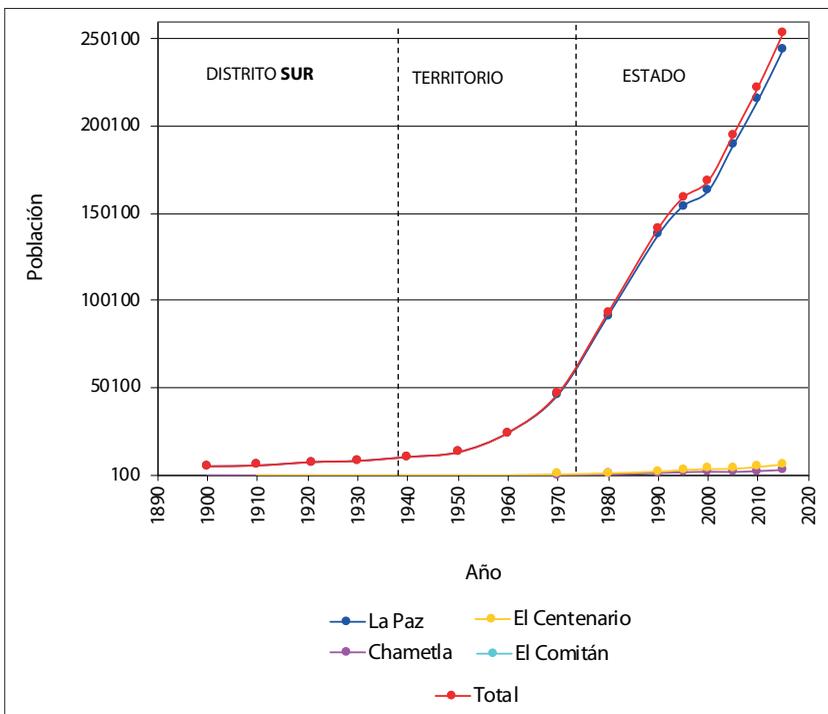


Figura 4. Crecimiento poblacional en la ciudad de La Paz y zona conurbada 1900-2015 (elaboración propia).

blacional en La Paz, que pasó de 10 445 a 46 709 habitantes en el año de 1970, con un incremento de área urbana de 5.6 km² en 1944 a 14.18 km² en 1973 (Figura 5).

Esta situación demográfica es favorecida por la construcción de la carretera transpeninsular, que se inaugura en 1935, y la ampliación de la ley de Perímetros Libres que en 1939 permite abarcar toda la península como zona libre. Esto marcó la pauta para un mayor crecimiento poblacional y la

reconversión de la actividad económica del sector primario al terciario, basada principalmente en el comercio, que se consolida entre las décadas de los años sesenta y setenta del siglo pasado con la inauguración de la ruta marítima Mazatlán-La Paz y la construcción del aeropuerto internacional de la ciudad de La Paz y San José del Cabo, lo cual favorece la actividad turística.

Ante el contexto económico basado en el comercio, los poblados de Chametla, El Centenario

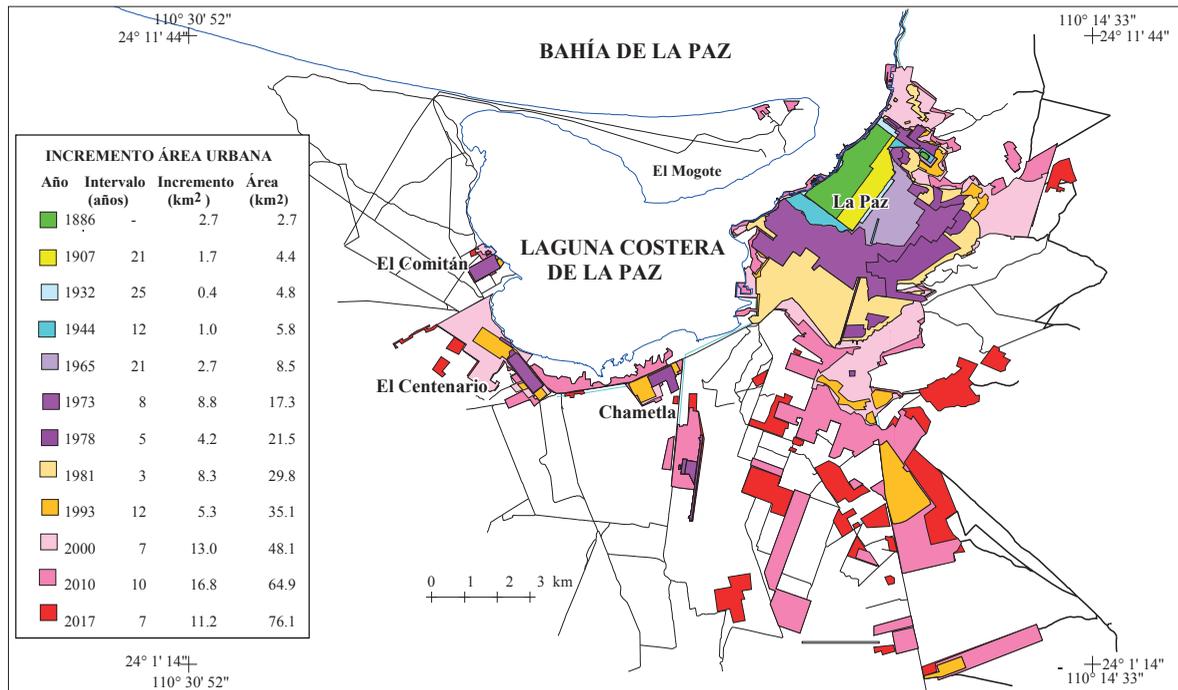


Figura 5. Incremento del área urbana de la ciudad de La Paz y zona conurbada 1886-2017 (elaboración propia).

y El Comitán, cobran importancia como zona conurbada de la ciudad de La Paz, lo cual se refleja en el censo del 1980 que reporta 93 007 habitantes, que duplica a la reportada en 1970, lo que, a su vez, se refleja en el incremento del área urbana a 29 km² en 1981.

Para 1982 el auge económico alcanzado por la actividad comercial en La Paz decrece notablemente debido a una serie de devaluaciones de la moneda nacional frente al dólar, así como a la crisis económica en la década de los años 1990 (Hernández, 1998). Sin embargo, dichas situaciones no se reflejan en el crecimiento poblacional ni en el incremento del área urbana que, para 1995, entre La Paz y los poblados de Chametla, El Centenario y El Comitán sumaban 158 800 habitantes, distribuidos en un área urbana de 44.7 km² (Figuras 4 y 5).

A finales de la década de los ochenta y principios de los noventa del siglo pasado, para reactivar la economía en el estado de Baja California Sur, se promocionó como destino turístico nacional e internacional a Loreto, La Paz, San José y Cabo San Lucas; sin embargo, lo que tuvo un mayor impacto

fue la modificación del artículo 27 Constitucional a finales del sexenio de Carlos Salinas de Gortari (1988-1994), con lo que se permite a ejidatarios vender sus tierras; lo que atrajo importantes inversiones en lo que actualmente se conoce como corredor turístico San José-Cabo San Lucas y La Paz. Así, pese a la recesión económica de la década de 1980 y 1990, la actividad económica en el estado se continúa concentrando en el sector terciario, pero con mayor auge en la actividad turística (Figura 3), lo que condicionó un aumento en las actividades del sector secundario, con la construcción de hoteles, marinas, campos de golf, unidades residenciales y habitacionales, que, a su vez, se refleja en un acelerado aumento de población debido a migrantes en busca de trabajo, provenientes en su mayoría de la zona centro y sur del país (GEBCS, 2011b, p. 40). De tal manera que el censo del año 2000, y el conteo de población del año 2015 reportan para la ciudad de La Paz y zona conurbada 168 299 y 253 021 habitantes, respectivamente (Figura 4), con un incremento de área urbana que pasó en 2003 de 66.3 km² a 85.7 km² en 2017 (Figura 5).

Actualmente, el municipio de La Paz es de los más poblados del estado, de tal manera que las estimaciones del H. XIV Ayuntamiento de La Paz (2011), estima que con la dinámica de crecimiento poblacional del 3.02%, la población en la ciudad de La Paz y zona conurbada llegue a 293 422 habitantes en 2020.

Efecto del incremento del área urbana en la franja costera

La evolución del sistema geomorfológico una vez formado implica considerar el área urbana de La Paz y zona conurbada como parte del paisaje; consecuentemente esta situación ha contribuido a la tendencia evolutiva de la franja y línea costera de la laguna, por lo que el estado actual es la suma de los agentes y procesos naturales y los inducidos por la actividad humana (Figura 6).

En este contexto al comparar las figuras 2, 5 y 6 podemos destacar que uno de los primeros efectos que se presentan por la actividad humana es la fragmentación en parcelas y calles del medio físico, con lo cual se da una serie de procesos inherentes

al urbanismo, como la deforestación y nivelación del terreno, lo que incluye el relleno de lo que en su momento fueron causas de arroyos (Figuras 2 y 6), situación que permite diferenciar en función del incremento del área urbana tres etapas como efecto inducido en la geomorfología costera, que se describen a continuación.

La primera, desde su fundación hasta finales de los años treinta del siglo pasado, caracterizada por un lento crecimiento poblacional e incremento del área urbana. De esta etapa es de destacar como un proceso del urbanismo la elaboración del plano de la ciudad de La Paz en el año de 1861 (INEGI, 2000), cuyo trazo fue concebido y ejecutado como una cuadrícula (Figura 5), orientada en función del flujo sureste-noroeste de los causes de arroyos (Figura 2).

La segunda etapa, entre la década de los años cuarenta a la de los años ochenta del siglo pasado, se caracterizó por una reconversión radical de la actividad económica del sector primario al terciario (comercio), que favoreció el crecimiento poblacional e incremento del área urbana; en cuyo incremento se continuó siguiendo el trazo original de la

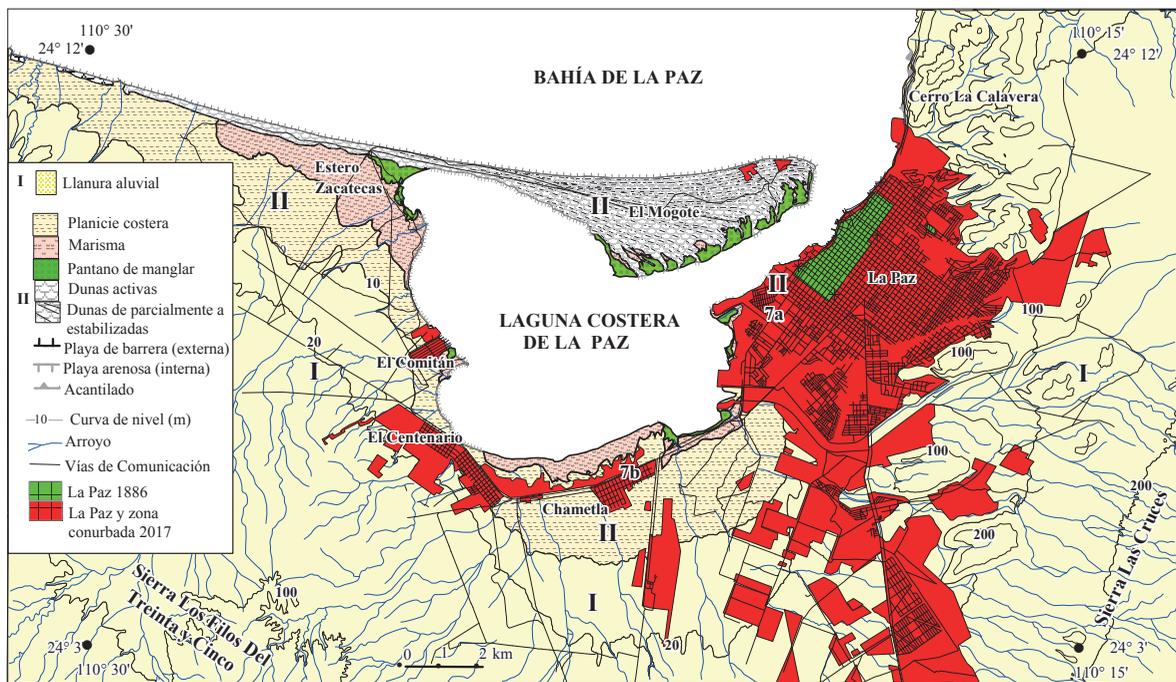


Figura 6. Efecto del incremento del área urbana en la geomorfología costera de la laguna de La Paz (elaboración propia).

ciudad, de tal manera que varias calles y avenidas principales orientadas de sureste a noroeste en su momento fueron causas de arroyos.

La tercer etapa se inicia a partir de la década de 1990 y continúa actualmente, caracterizada por un acelerado aumento poblacional, incentivado por una dinámica económica basada en el turismo, propiciando, a su vez, actividades de construcción que se reflejan en un mayor incremento del área urbana carente de planificación y ordenamiento, lo cual queda evidenciado con la pérdida del trazo original de la ciudad de La Paz, asentamientos irregulares en zonas de alto riesgo a inundaciones, así como por el aumento de construcciones en la planicie costera, aun cuando esta zona se inunda durante eventos de mareas sicigias, por lo que para construir se ha requerido elevar el nivel del suelo con escombros (Figura 7).

De acuerdo con la información anterior, podemos asumir que el estado evolutivo actual de la franja y borde costero de la laguna de La Paz se da como respuesta de la actividad antrópica tanto de manera directa en la franja costera como indirecta en la llanura aluvial. De manera directa en el tramo costero de la ciudad de La Paz, con la construcción de infraestructura turística, como hoteles, marinas, muelles y campos de golf, y en el tramo costero entre el poblado de Chametla y El Centenario, con construcciones que van desde zonas residenciales hasta depósitos de chatarra automotriz, cuyo efec-

to ha ocasionado la alteración y pérdida parcial o total de ecosistemas costeros como planicie costera, marisma, pantanos de manglar, playas y dunas.

De manera indirecta en la llanura aluvial, el incremento progresivo del área urbana se refleja como pérdida de área efectiva de escurrimiento. Consecuentemente, el flujo de sedimentos que en su momento era aportado hacia la franja costera durante los episodios de lluvias se ve interrumpido y con esto la pérdida del balance sedimentario que dio origen a los ambientes acumulativos costeros, en cuyo proceso la intensidad de los agentes dinámicos actuantes sobre la franja costera (viento, mareas, oleaje) se han mantenido, lo que implica que han estado actuando con la misma intensidad, ocasionando que las condiciones por falta de material sedimentario cambien lo suficiente como para reflejarse en la morfodinámica del borde costero de la laguna de La Paz, cuya tendencia evolutiva se resume en la Tabla 1 y la Figura 8.

La tendencia evolutiva, según los periodos de tiempo analizados, indica una respuesta diferenciada (Tabla 1 y Figura 8), con un área de referencia neta para los años que van de 1973 al 2017 de -0.10 km^2 , lo que representa una tasa de $-0.0023 \text{ km}^2/\text{año}$, en una extensión perimetral de la franja costera de 7.1 km (diferencia de perímetro), por lo que, de acuerdo al análisis morfodinámico, en el intervalo de 44 años la línea de costa se ha erosionado a una tasa de -0.0003 km/año (Tabla 1).



Figura 7. Áreas en la planicie costera, rellenas con escombros para elevar el nivel del suelo. Su ubicación (7a y 7b) se muestra en las Figuras 2 y 6 (elaboración propia).

Tabla 1. Tasas evolutivas de la línea de costa, de la Laguna de La Paz.

Año	Perímetro ¹ (km)	Área de referencia (km ²)	Periodo (años)	Intervalo (años)	Diferencia perímetro (km)	Diferencia de Área (km ²)	Tasas ² evolutivas (km ² /año)	Estado línea ³ de costa (km/año)
1973	89.59	44.69						
1978	89.74	44.60	1973-1978	5	0.15	-0.09	-0.01800	-0.12000
1993	93.13	44.69	1978-1993	15	3.39	0.09	0.00600	0.00177
2000	96.41	44.70	1993-2000	7	3.28	0.01	0.00143	0.00044
2010	96.54	44.70	2000-2010	10	0.13	0.00	0.00000	0.00000
2017	96.69	44.59	2010-2017	7	0.15	-0.11	-0.01571	-0.10476
Área neta			1973-2017	44	7.1	-0.10	-0.00227	-0.00032
Regresión lineal (LR)		$\Delta S / \Delta T$ (km ² /año)	Periodo (años)	Intervalo (años)				
		-0.0003	1973 -2017	44				

1) Incluye el perímetro de la línea de referencia arbitraria (31.31 km) aunada a las longitudes de las líneas de costa digitalizadas para obtener el área de referencia para cada año.

2) Cociente de la diferencia de área, entre el intervalo de años para cada periodo de tiempo.

3) Cociente de la tasa evolutiva, entre la diferencia de perímetro para cada periodo de tiempo.

Fuente: elaboración propia.

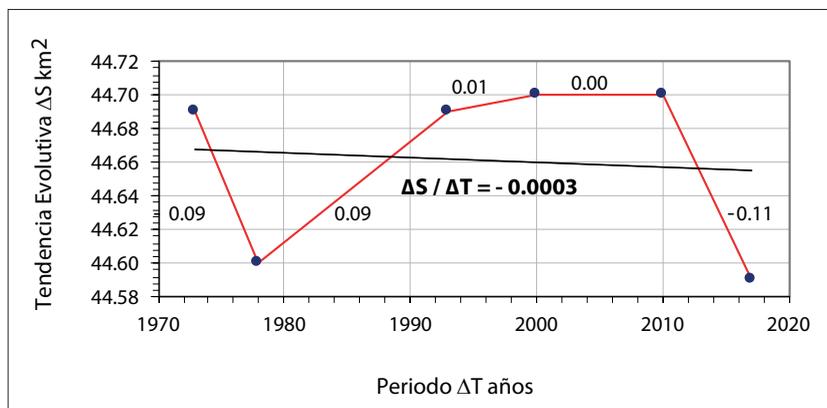


Figura 8. Tasa evolutiva de línea de costa de la Laguna de La Paz, obtenida con el método de Regresión Lineal (LR) (elaboración propia).

Es conveniente destacar que, de acuerdo a la información de la Tabla 1 y Figura 8, para los periodos de 1978-1993, 1993-2000 y 2000-2010, se dio un incremento de área, sin embargo, las evidencias de campo, como las que se muestran en la Figura 9, señalan que el proceso de erosión se encontraba ya presente, pero no se refleja en la tendencia evolutiva debido a que la playa frente al paseo Álvaro Obregón (malecón) se regenera artificialmente,

así como por los terrenos ganados al mar en el tramo costero de la ciudad de La Paz, entre 1978 y 2010, para la construcción de muelles, marinas, hoteles así como de una zona residencial. Al mismo tiempo, es de hacer notar que entre 1978 y 2010, los poblados de Chametla y El Centenario cobran importancia como zona conurbada y se intensifica la actividad de construcción en su franja costera, de tal manera que el efecto de dicha actividad se

hace evidente en la sobreposición de los polígonos de referencia para los años 2000, 2010 y 2017, con el retroceso de su línea de costa, que a diferencia al de la ciudad de La Paz, no se le da mantenimiento. Dicha tendencia evolutiva se muestra en la Figura 10, con el análisis morfodinámico integrado entre la primer y última línea de costa (1973-2017), cuya tendencia evolutiva obtenida de la regresión lineal (RL) $\Delta S / \Delta T = -0.0003 \text{ km}^2/\text{año}$ (Figura 8), que corresponde al desplazamiento experimentado entre ambas situaciones, normalizado en el tiempo transcurrido entre ambas líneas de costa (Jiménez, 1996); confirmando, de acuerdo a las áreas de referencia de 1973 y 2017, que el estado de la línea de costa al interior de la laguna de La Paz se encuentra en proceso de erosión a -0.3 m/año .

La tendencia espacial que se muestra en la Figura 10 destaca los cambios más evidentes del borde costero, lo cual permite diferenciar las variaciones de origen inducido de las de origen natural.

En las variaciones inducidas se identifican tanto acumulativas como erosivas, principalmente en el tramo costero entre la ciudad de La Paz y el poblado El Comitán.

Las variaciones acumulativas se presentan en este tramo con terrenos ganados al mar, mantenimiento de infraestructura costera y playas (áreas con relleno artificial), situación que no ocurre en el tramo entre los poblados de Chametla, El Comitán y El Centenario, en donde el proceso erosivo ubica en la actualidad a las construcciones costeras más antiguas (propiedad de particulares) en lo que debiese ser la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT).

Así, el proceso de erosión que ha experimentado el borde costero al interior de la laguna de La Paz se presenta como respuesta diferenciada, tanto en tiempo (ΔT) como en espacio (ΔS), como efecto de la reducción del área de escurrimiento y la pérdida del balance sedimentario propiciado por la construcción de la carretera de cuatro carriles que corre perpendicular a la mayoría de los cauces de los arroyos y el incremento progresivo del área urbana; puesto que estas obras actúan como barreras al retener sedimentos que normalmente llegaban a la laguna mediante los escurrimientos en temporada de lluvias.

Las variaciones de origen natural se observan principalmente en el borde costero externo de la flecha de barrera El Mogote y en su lóbulo, las cuales, para los periodos analizados, no son tan evidentes como al interior de la laguna, ya que se observan más como un proceso de remodelación generado por una dinámica evolutiva estable, lo cual se confirma con el efecto acumulativo del lóbulo entre 1973 y 2017. Dicha situación se ha mantenido aun cuando para el año 2010 se encontraba ya un desarrollo turístico en la zona del lóbulo, lo que implica que el balance sedimentario que dio origen a la flecha de barrera se mantiene, debido a la escasa actividad humana en las cuencas hidrográficas y llanura aluvial que drena hacia la bahía de La Paz.

DISCUSIÓN

Si bien la actividad turística ha sido un factor determinante para la reactivación económica, también ha condicionado un acelerado crecimiento demográfico que se refleja en el incremento desordenado del área urbana. Esto ocasiona la pérdida del balance sedimentario que dio origen a la geomorfología de la franja costera y cuyo efecto morfodinámico ha pasado a un estado erosivo, que no es percibido adecuadamente por su lento y poco violento desarrollo, por lo que aun cuando la erosión de la línea de costa se encuentra en aumento, ha pasado a ser parte de la cotidianidad. En este contexto, la infraestructura realizada en la franja costera se encuentra en peligro, de tal manera que en la actualidad se localizan construcciones en lo que debiese ser la Zona Federal Marítimo Terrestre, situación que, al mismo tiempo, adquiere dimensiones de problemas ecológicos y paisajísticos, cuando parte de la infraestructura fragmenta y ocupa áreas como playas, dunas, marismas y manglares, que se refleja en pérdida de servicios ecosistémicos y calidad de vida para los habitantes.

Paradójicamente, los recursos en los que se ha basado la publicidad e impulso turístico se están perdiendo. Y con esto no solo se reducen las opciones para un desarrollo sustentable, sino que, además, se ha incrementado la vulnerabili-

dad a inundaciones en la ciudad y zona conurbada de La Paz como resultado de la tendencia a adaptar el medio ambiente a las actividades humanas, como en el caso de la llanura aluvial, al rellenar y desviar cauces de arroyos, y en la planicie costera y marismas al elevar el suelo para construir.

Así, el acelerado incremento del área urbana carente de planificación ha generado importantes cambios en la geomorfología y morfodinámica de la laguna, lo cual se agrava con la perspectiva individualizada de los usuarios directos o indirectos de la franja costera, los cuales anteponen sus intereses y necesidades sobre el resto de las partes, generando conflictos derivados de las interrelaciones de su uso y manejo.

Dado que el incremento del área urbana se continuará dando, resulta importante su planificación y ordenamiento, con el propósito de garantizar la conservación de los ecosistemas costeros, que suelen ser especialmente frágiles a las alteraciones y modificaciones realizadas por el hombre, ya sea de forma directa o indirecta, como las que se realizan alejadas de la costa. En este sentido es preponderante sopesar la pertinencia de seguir construyendo hoteles, marinas, campos de golf y zonas residenciales, entre otro tipo de construcciones, donde los beneficios son solo para unos cuantos o el de la conservación de marismas, manglares, playas y dunas, cuyo buen uso y manejo son factor de desarrollo sustentable económico y ambiental, en donde los beneficios no solo son para los habitantes de La Paz sino que se traduce en beneficio para la nación.

CONCLUSIÓN

Puesto que la evolución de la franja costera se estudia desde que se produjeron una serie de cambios en las condiciones que rigen la evolución de la laguna de La Paz, los cuales se mantienen hasta la actualidad, es conveniente reiterar que los aspectos geomorfológicos descritos no solo son un reflejo de los agentes y procesos naturales que la han ido modelando al paso del tiempo, sino que, además, se han visto modificados de forma directa e indirecta por la creciente actividad humana basada

principalmente en la actividad turística, y cuyo efecto en el entorno físico, en tiempo y espacio, se traduce en el proceso erosivo del borde costero lagunar, que indica un cambio de todo el sistema de aporte de sedimentos hacia la laguna, así como la fragmentación y ocupación de ambientes costeros que en conjunto se traduce en un importante impacto ambiental.

REFERENCIAS

- Azuz, A.I., y Rivera, A.E. (2009). Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005. *Papeles de Población*, (62), 75-107. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/pp/v15n62/v15n62a3.pdf>
- CETENAL. (1973). Fotografías aéreas zona 47-A, fotografías mR1410-1, mR 149-1, mR 147-1. 1: 70, 000. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Chávez, L. S. y Mendoza, A. A. (2016). Aspectos Geomorfológicos e Hidrográficos de la Cuenca San José del Cabo, B.C.S., México, como Factor de Riesgo a Inundaciones. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 2(2), 103 – 126. doi: [anscripta.2016.02.02.02.0006](https://doi.org/10.24075/anscripta.2016.02.02.02.0006)
- De Andrés, M., y Barragán, J.M. (2016). Desarrollo Urbano en el Litoral a Escala Mundial. Método de Estudio para su Cuantificación. *Revista de Estudios Andaluces*, 33 (1), 64-83. doi.org/10.12795/rea.2016.i33.04
- GEBCS. (2001). *Compendio Estadístico 1998-2000, Municipios de Baja California Sur*. Centro Estatal de Información. México: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- GEBCS. (2002 a). *Estadísticas Históricas 1929-1956, Territorio Sur de Baja California*. Centro Estatal de Información. México: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- GEBCS. (2002 b). *Estadísticas Históricas 1956-1975, Distrito Sur de la Baja California*. Centro Estatal de Información. México: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- GEBCS. (2003 a). *Estadísticas Históricas 1880-1928, Distrito Sur de la Baja California*. Centro Estatal de Información. México: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- GEBCS. (2003 b). *Estadísticas Históricas 1975-1998, Estado de Baja California Sur*. Centro Estatal de Información. México: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- GEBCS. (2011 a). *Baja California Sur, Información Extra-*

- tégica 2011. Dirección de Informática y Estadística. México: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- GEBCS. (2011 b). *Plan Estatal de Desarrollo 2011-2015*. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Recuperado de: http://biblioteca.setuesbcs.gob.mx/administrador/biblioteca/publicaciones/pdf/pedB-CS_2011-2015.pdf
- GEBCS. (2013). *Baja California Sur, Información Estratégica 2013*. Dirección de Informática y Estadística. México: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- GEBCS. (2015). *Baja California Sur, Información Estratégica 2015*. Dirección de Informática y Estadística. México: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- GEBCS. (2017). *La Paz, Información Estratégica 2017*. Dirección de Informática y Estadística. México: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- Google Earth (2019), Imágenes históricas 2017: La Paz. 1:50,000. Consultado febrero 6 de 2018. <https://www.google.com>
- H XI. Ayuntamiento de La Paz. (2000 a). Plano delimitado por colonias del Centenario 30030092 [Mapa]. 1: 12, 500. La Paz, B.C.S., México: Oficina de Catastro Municipal de La Paz.
- H XI. Ayuntamiento de La Paz. (2000 b). Plano delimitado por colonias de Chametla 30030108 [Mapa]. 1: 12, 500. La Paz, B.C.S., México: Oficina de Catastro Municipal de La Paz.
- H. XI. Ayuntamiento de La Paz. (2000 c). Plano delimitado por colonias de La Paz 30030001 [Mapa]. 1: 12, 500. La Paz, B.C.S., México: Oficina de Catastro Municipal de La Paz.
- H. XIV. Ayuntamiento de La Paz (2011). El Agua en el Municipio de La Paz. Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de La Paz. H. XIV Ayuntamiento de La Paz, B.C.S., México.
- Hernández, V. M. (1998). Economía, Sociedad y Recursos Naturales en Baja California Sur. En Hernández, V. M. (Ed.), *Desarrollo, Planificación y Medio Ambiente en Baja California Sur* (pp. 53-107). La Paz, Baja California Sur, México: Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- INEGI. (1978 a). Carta topográfica El Centenario G12D82 [Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión 1983. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1978 b). Carta topográfica La Paz G12D83[Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión 1983. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1978 c). Carta topográfica La Victoria F12B12 [Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión 1983. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1978 d). Carta topográfica San Antonio F12B13 [Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión 1983. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1993 a). Carta topográfica El Centenario G12D82 [Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión 1999. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1993 b). Carta topográfica La Paz G12D83 [Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión 1999. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1993 c). Carta topográfica La Victoria F12B12 [Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión 2003. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1993 d). carta topográfica San Antonio F12B13 [Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión 2003. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2000). *Ciudades Capitales: Una Visión Histórico Urbana, Vol. 1*. [CD-ROM]. Aguascalientes México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI. (2017), Censos y Conteos de Población y Vivienda: 1895 al 2010. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1895/default.html#Tabulados>
- INEGI. (2018). *Información por entidad: Número de habitantes por municipio*. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/BCS/Poblacion/default.aspx?tema=ME&e=03>
- Jiménez I. A. y Obeso N. M. (1990). Refracción de oleaje en la parte sureste de la bahía de la Paz [Resumen]. En Castañeda, L. O., y Contreras E. F. (compiladores), *Serie: Bibliografía comentada sobre Ecosistemas Costeros Mexicanos. Volumen I: Baja California Norte y Sur*, (pp. 386). México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, División Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Hidrobiología.
- Jiménez, J. A. (1996). *Evolución costera en el Delta del Ebro. Un proceso a diferentes escalas de tiempo y espacio*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Jiménez, J. A., Gracia, V., Sánchez, A. A., Stive, M. J. F. Girolamo, P. (2000). *Costal Monitoring and Data Analysis Along The Abruzzo Coast*. International Center For Coastal Resources Research. Universitat Politecnica de Catalunya. Barcelona España.
- Sánchez, A. A. y Jimenez, A. J. (1994). Ingeniería de playas (I): Conceptos de morfología costera. *Ingeniería del Agua*, 1 (2), 97-114.
- SMN (2018). *Planos de la estación La Paz*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofi-

sica, Servicio Mareográfico Nacional. Recuperado de <http://www.mareografico.unam.mx/portal/index.php?page=Estaciones>
SPOT. (2010). Imagen satelital pancromática E55633021002272T2A05007. EADS, Matra Systems & Information.

U.S. Army, Corps of Engineers. (1995). *Coastal Geology: Engineer Manual 1110-2-1810*. Recuperado de https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1810.pdf