

# Revista Ciencias del Mar, UAS

Enero - Marzo 2024

Núm. 2 Vol.1



U N I V E R S I D A D A U T Ó N O M A D E S I N A L O A



E-ISSN (en trámite)



# Revista CIMAR, UAS

REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR E-ISSN (en trámite)



 Artículo Científico

## Geomorfología y Evolución del estero El Chisguete, Baja California Sur, México

## Geomorphology and Evolution of El Chisguete estuary, Baja California Sur, Mexico



CREATIVE COMMONS



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina



1. Saúl Chávez López



0000-0002-5427-8337

Programa de Planeación y Conservación Ambiental, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. México.

Autor de correspondencia: [schavez04@cibnor.mx](mailto:schavez04@cibnor.mx)



2. Miguel Ángel Imaz Lamadrid



0000-0002-6653-0835

Departamento Académico de Ingeniería en Pesquerías, Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.



---

## Geomorfología y Evolución del estero El Chisguete, Baja California Sur, México

---

---

## Geomorphology and Evolution of El Chisguete estuary, Baja California Sur, Mexico

---

### ► RESUMEN

El estero El Chisguete forma parte del complejo lagunar Santo Domingo-Magdalena-Almejas, es uno de los ecosistemas lagunares con mayor biodiversidad, importancia pesquera y atractivo ecoturístico en el estado, lo que justifica analizar su geomorfología y evolución, empleando las metodologías de cambios geomorfológicos y morfodinámicos.

El estero destaca de entre otros cuerpos de agua marginales, por el desarrollo de dos barreras. Su geomorfología está constituida por depósitos terrígenos en la llanura aluvial y, hacia su franja costera, por depósitos de origen marino y eólico; dando forma a marismas, pantanos de manglar, dunas, barreras y playas, que se acoplan como ecosistemas vecinos. En general el estero es somero, con profundidad media de un metro, y su hidrodinámica está condicionada por las corrientes de marea y oleaje de tipo local.

El proceso morfodinámico de las barreras oriental (E) y occidental (W), para el periodo analizado (1973-2022), muestra una tasa evolutiva ( $\Delta S / \Delta T$ ) de  $0.027 \text{ km}^2$  y  $0.0034 \text{ km}^2$  respectivamente. Por lo que mantiene un buen estado de conservación, en donde sus cambios se presentan como una remodelación de origen natural. Lo que permite emplear el estado evolutivo de las barreras como geoindicador ambiental.

**Palabras claves:** estero, geomorfología, morfodinámica, sedimentos, evolución.



## ► ABSTRACT

El Chisguete Estuary forms part of the Santo Domingo – Magdalena – Almejas lagoon complex. It is one of the state's lagoon ecosystems with the greatest biodiversity, fishing, and ecotourism attractions. This justifies the analysis of its geomorphology and evolution, employing geomorphologic and morphodynamics methodologies.

The estuary stands out among other marginal water bodies by its developing two barriers. Terrigenous deposits constitute its geomorphology in the alluvial plain, while deposits towards its coastal margin are marine and wind originated. This forms marshes, mangrove swamps, dunes, barriers, and beaches, which become neighboring ecosystems. In general, the estuary is shallow, with a mean one-meter depth. Moreover, tide currents and local wave action condition its hydrodynamics.

The morphological processes of the east (E) and west (W) barriers for the analyzed period (1973 – 2022) show an evolutionary rate ( $\Delta S / \Delta T$ ) of  $0.027 \text{ km}^2$  and  $0.0034 \text{ km}^2$ , respectively. Therefore, it maintains a good preservation state, where its changes are presented as a remodeling of natural origin. This makes it possible to use the evolutionary state of the barriers as an environmental geo-indicator.

**Keywords:** estuary, geomorphology, morphodynamics, sediments, evolution.

## ► INTRODUCCIÓN

El complejo lagunar Santo Domingo-Magdalena-Almejas se encuentra en la costa occidental del estado de Baja California Sur, en conjunto cubre un área aproximada de  $2200 \text{ km}^2$ . En él se encuentran alrededor de 50 cuerpos de agua marginales, separados en su mayoría del complejo lagunar principal por barreras o islotes de manglar; a los cuales se les refiere como esteros, (terrenos bajos pantanosos que suelen inundarse por efecto de la marea). De estos destaca el estero El Chisguete por su mayor dimensión y por la génesis y evolución de dos barreras arenosas que lo separan parcialmente de la porción lagunar de Bahía Magdalena. De acuerdo con Lankford (1977), el estero El Chisguete corresponde a



un antiguo valle, formado por procesos no marinos durante el descenso del nivel del mar e inundado por la transgresión del Holoceno, el cual se ha modificado por procesos de la zona litoral.

En estos procesos, los cambios que se efectúan en la costa a través del tiempo se traducen en la evolución de la misma, como resultado de las interacciones de los agentes dinámicos como el viento, oleaje, corrientes, mareas y otros fenómenos condicionados por las interrelaciones continente-océano-atmosfera; que son el aspecto fundamental, junto con la presencia o ausencia de suministro de material sedimentario, y cuyo efecto se verá reflejado en la costa de acuerdo a ciertas estructuras geomorfológicas que la caracterizan (Chávez, 2022).

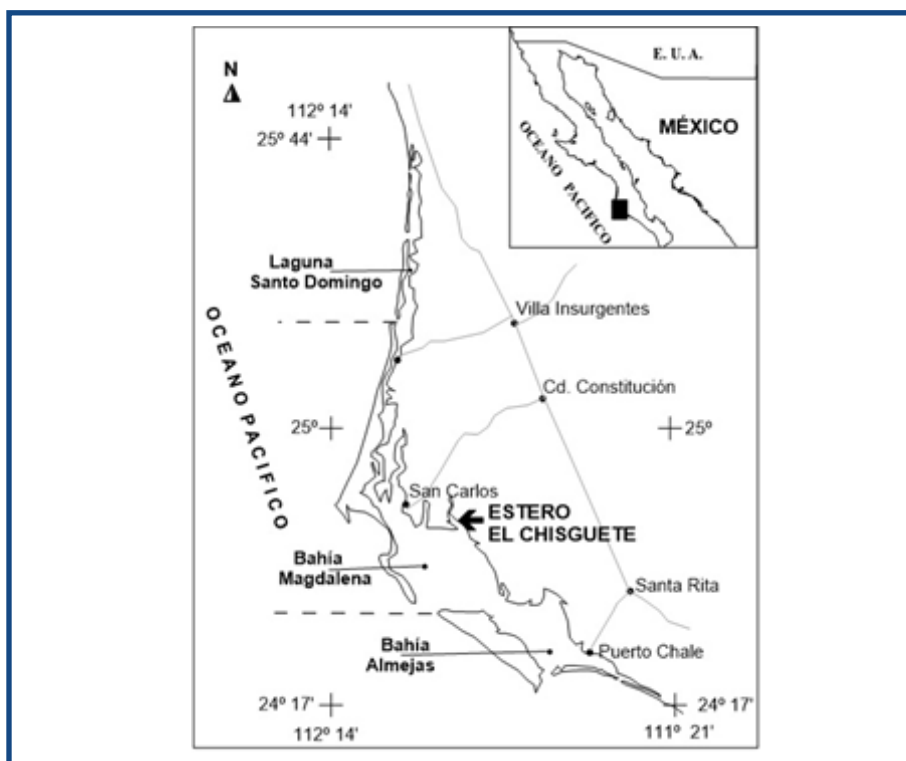
De estas estructuras geomorfológicas las playas, dunas y barreras arenosas, son elementos típicos de costas sedimentarias, en cuya génesis y evolución se requiere de abundante material sedimentario y una dinámica litoral lo suficientemente intensa para generar el transporte transversal y longitudinal de sedimentos que las mantienen (Chávez, 2020). Así, entre el suministro de sedimentos aportado principalmente desde las cuencas hidrográficas y la hidrodinámica litoral se establece el balance sedimentario que da origen a las costas acumulativas y progradantes, que al estar integradas por material no consolidado y no cohesivo, suelen ser especialmente frágiles a cambios en el potencial suministro de sedimentos, así como por las alteraciones y modificaciones realizadas por el hombre, ya sea de forma directa en la franja costera o indirectas alejadas de la costa (Chávez, 2020).

En este contexto el objetivo de analizar la geomorfología y evolución del estero El Chisquete contribuye a un mejor entendimiento físico del complejo lagunar, en donde el estado evolutivo de las barreras arenosas representa un geoindicador ambiental (Chávez, 2022). Lo cual, si consideramos que el complejo lagunar Santo Domingo-Magdalena-Almejas es uno de los ecosistemas lagunares con mayor biodiversidad, importancia pesquera y atractivo ecoturístico en el Estado de Baja California Sur (Funes, Gómez, Palomares, 2007), justifica el presente trabajo dado el acelerado incremento poblacional y diversificación de actividades económicas basadas principalmente en el turismo; en donde la falta de planeación y ordenamiento repercuten negativamente en el medio ambiente.

## ▶ ÁREA DE ESTUDIO

El complejo lagunar Santo Domingo-Magdalena-Almejas del cual forma parte el estero El Chisguete (Figura 1), se encuentra en la subprovincia fisiográfica discontinuidad Llanos de Magdalena, la cual se extiende con topografía suave integrando una llanura aluvial desde las estribaciones de la subprovincia Sierra de la Giganta en el oriente, hasta la línea de costa del océano Pacífico al occidente (INEGI, 1996; CRM, 1999).

La región tiene un clima muy seco, semicálido con una temperatura media anual de 20 a 22 °C y precipitación total anual menor de 100 mm (INEGI, 1996; CRM, 1999). Las lluvias importantes se producen asociadas con la incidencia de ciclones y tormentas tropicales entre los meses de mayo a octubre con énfasis en septiembre (Serra, 1971; Latorre, Penilla, 1988). Estos fenómenos meteorológicos pueden considerarse importantes en su momento por la cantidad de lluvia que aportan, la cual supera en ocasiones los valores medios anuales, pero pierden importancia a una escala de tiempo más amplia por su carácter aleatorio (Salinas, Lluch, Hernández, 1992).



*Figura 1.* Localización del área de estudio.



Las condiciones de aridez en la región se reflejan en la vegetación de tipo de matorrales xerófilos (CRM, 1999) y en la escasa red hidrográfica integrada por arroyos intermitentes de segundo orden, de los cuales ninguno desemboca en el estero El Chisguete.

Los vientos en la región son provenientes de dos complejos de circulación: el giro anticiclónico del Pacífico Norte, causante de los vientos alisios del noroeste y el Ecuatorial, que se extiende a lo largo de Centroamérica en sentido sureste (Bakun, Nelson 1977; Zaytsev, Cervantes, Montante, Gallegos, 2003).

La persistencia de los vientos del noroeste durante todo el año genera oleaje que incide sobre la costa (Funes, et al., 2007; Orzo, Zaytsev, Saldivar, 2007), con una componente hacia el sur que se hace evidente en la evolución de las barreras arenosas del complejo lagunar Santo Domingo-Magdalena-Almejas; cuya porción emergida se integra por dunas activas con diferentes estados de desarrollo, con alturas que van de 1 hasta 10 metros, formando barjanas con orientación preferencial noroeste-sureste, infiriendo la dirección de los vientos dominantes de la región.

Las mareas son mixtas semidiurnas, con nivel de pleamar media de 0.66 m y nivel de bajamar media inferior de -0.87 m, con respecto al nivel medio del mar (Lankford, 1977). En cuerpos de agua costeros con comunicación abierta con el océano, como en el presente caso, la marea es producida por cooscilación con el océano adyacente. Esto quiere decir que las variaciones del nivel del mar dentro del cuerpo de agua adyacente se deben principalmente a las variaciones del nivel del mar en la entrada que los comunica y no a la atracción gravitatoria del Sol y la Luna (Marinone, Lavin, 1977; Ripa, Velázquez, 1993). Por lo que la hidrodinámica al interior del complejo lagunar se encuentra principalmente asociada al forzamiento de las corrientes de flujo y reflujos de la marea (Obeso, Gaviño, Jiménez, 1999; Orzo, et al., 2007), a través de seis entradas mediante las cuales se efectúa el intercambio de agua con mar abierto (Figura 1). Así una vez que la onda de marea ha entrado al complejo lagunar su comportamiento es fuertemente



influenciado por la geometría local (longitud, anchura, batimetría, etc.) y en donde el marcado cambio vertical de las mareas ocasiona que durante bajamar queden expuestas amplias áreas lagunares, principalmente en los cuerpos de agua marginales (esteros). Por lo que de acuerdo con Contreras y Casillas (1992), las propiedades fisicoquímicas y ecológicas de los cuerpos de agua con características similares, dependen fundamentalmente de la dinámica de la marea, que determina en buena medida el balance hidrodinámico entre el complejo lagunar y la zona oceánica adyacente.

## ► MATERIAL Y MÉTODOS

En el trabajo se emplearon las metodologías de cambios geomorfológicos (U.S. Army, 1995) y morfodinámicos por el método de regresión lineal (RL), que requieren documentos históricos, destacando los mapas, fotografías aéreas e imágenes de satélite (Jiménez, Gracia, Sanchez, Stive, Girolamo, 2000), que permiten abordar ambas metodologías a escalas temporales de largo plazo (décadas a centenares de años) y espaciales del orden de kilómetros (Sánchez, Jiménez, 1994). Como plataforma de trabajo se empleó el software MapInfo 9.5 y Surfer 8 y para los datos estadísticos y la elaboración de gráficos la hoja de cálculo Excel 2007.

El mapa base se preparó con cartas raster y vectoriales escalas 1: 50,000, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2003), elaboradas con fotografías aéreas del año de 1993 (G12C57, G12C67), cuya línea de costa se encuentra referida al nivel medio del mar (nmm).

Para la delimitación de unidades geomorfológicas, se empleó el mapa base e imágenes pancromáticas SPOT del año 2010, con verificación durante el trabajo de campo en noviembre de 2021, empleando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, iQue M5).

El trabajo al interior del estero, se efectuó a bordo de una lancha con motor fuera de borda. La batimetría se efectuó mediante 10 secciones orientadas E-W empleando GPS y sonar DEPTHMATE portable modelo SM5. Durante esta misma campaña se colectaron 20 muestras de sedimentos empleando draga Van Veen de 0.05 m<sup>2</sup> :16 al interior del



estero y dos en las dunas de cada una de las barreras, ubicadas a ambos lados de la entrada del estero.

La velocidad y dirección de la corriente se midió empleando cuerpos de deriva, cronometro y brújula, durante diferentes periodos de flujo y reflujos de mareas.

En laboratorio para el análisis granulométrico de las 20 muestras se emplearon las técnicas de tamizado descritas en Lewis (1984) a intervalos de un cuarto de phi ( $\phi$ ) y para los parámetros estadísticos (media, desviación estándar, sesgo y curtosis) y nomenclatura de los sedimentos se empleó el método de los momentos descrito en Fredman y Sanders (1978).

Para estimar la velocidad crítica de iniciación de movimiento y transporte de partículas sedimentarias por corriente, se empleó el diagrama de Hjulström (Sedimentología para todos, 2022) y el parámetro de Shields que se muestra en la ecuación uno y dos (CERC, 1984).

$$D_* = D_{50} [(S-1)g/\nu^2]^{1/3} \quad \text{ecuación (1)}$$

$$\Theta_{cr} = (V_{*cr})^2 / (S-1)gD_{50} \quad \text{ecuación (2)}$$

En donde:

$D_*$  es el parámetro de partícula,  $D_{50}$  tamaño promedio de sedimentos,  $S = \rho_s / \rho_f$  densidad del sedimento,  $g$  aceleración de la gravedad,  $\nu$  Viscosidad cinemática del fluido,  $\Theta$  Parámetro adimensional de Shields,  $V_{*cr}$  velocidad tangencial crítica.

En cuanto al cálculo de altura de ola e iniciación de movimiento de sedimentos, se empleó la ecuación de Hallermeier (ecuación tres) y el gráfico de velocidad máxima del fondo a partir de la teoría de ola de pequeña amplitud (ecuación cuatro) relación periodo de ola profundidad (CERC, 1984), así como la información de oleaje reportado por los autores referidos en el texto.

$$V_{\max(-d)} = (8[S-1]gD_{50})^{0.5} \quad \text{ecuación (3)}$$

$0.1 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$  (condiciones de campo)

$$V_{\max(-d)} T / H \quad \text{ecuación (4)}$$

En donde:  $V_{\max(-d)}$  es la velocidad de pico crítica cerca del lecho,  $S$  densidad del sedimento,  $g$  aceleración de la gravedad,  $D_{50}$  tamaño promedio de sedimentos,  $T$  periodo de ola y  $H$  altura de ola.

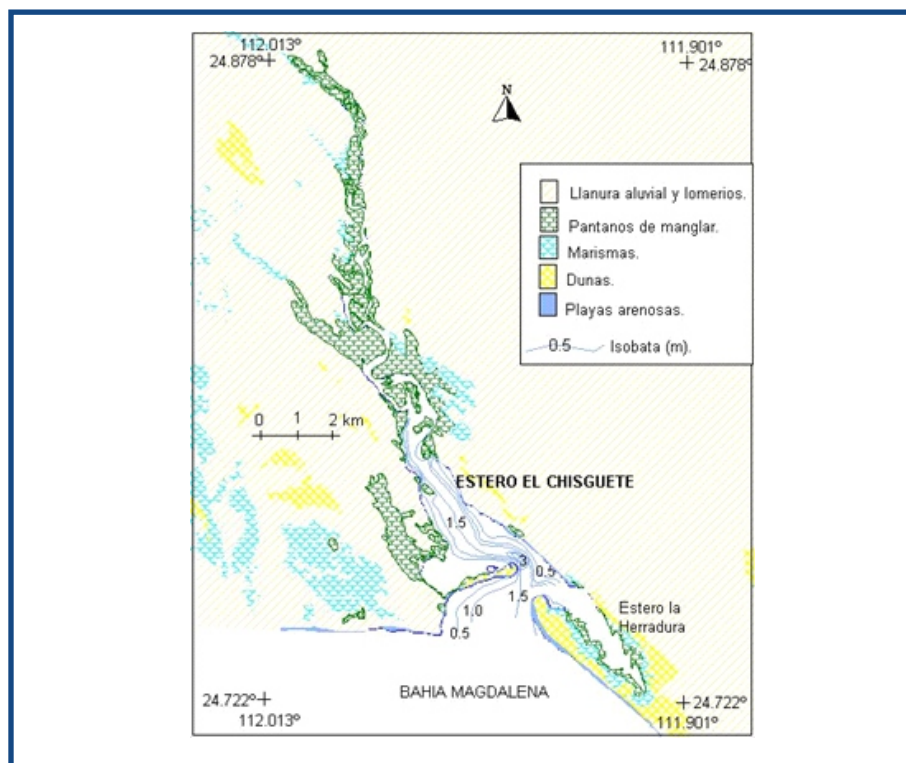


Para el análisis evolutivo (morfodinámica) se digitalizaron líneas de costa empleando fotografías aéreas de INEGI del año de 1973, zona 47A, línea 7 fotografías 9, 10, 11; línea 8 fotografías 29, 30, 31, cartas topográficas raster de INEGI 1983: G12C57, G12C67, fotografías aéreas de INEGI 1993, vuelo SINFA, zona G 12-10-11, línea 48 fotografías 3, 4, 5; línea 49 fotografías 7, 8, 9, imagen satelital 2003, IMG-Here.com-Hybrid (SAS Planet, 2003), imágenes pancromáticas SPOT E55593001003302T2A00007, E55593011008122T2A00002. EADS, del año 2010 e imagen satelital 2022, IMG-Bing (SAS Planet, 2022).

## ▶ RESULTADOS

### **Batimetría y geomorfología**

El estero El Chisguete, está orientado en dirección noroeste-sureste, forma un embudo con su mayor amplitud en la boca con la que mantiene comunicación con Bahía Magdalena. El estero es somero, con profundidad media de un metro y máxima de tres, formando una depresión en el canal de mareas (Figura 2). Dicho canal, se interna en el estero siguiendo un curso de meandros, mejor definidos en la porción norte del estero. Sus partes convexas indican depositación de sedimentos, favoreciendo el establecimiento de pantanos de manglar, que a su vez funcionan como trampas de sedimentos; dando lugar a la formación de islotes y zonas de bajos, propiciando que el canal de mareas tienda a desplazarse lateralmente, así como al azolvamiento del estero. Lo anterior se evidencia en la porción norte, con las zonas de marismas aledañas a los pantanos de manglar, que en su momento formaron parte de estos, y en donde la elevación del suelo y la prolongada falta de inundación que actualmente solo se da durante mareas sicigias ha favorecido la formación de costras de minerales evaporíticos, dando paso a la pérdida de manglar como parte de un proceso evolutivo natural. Hacia la porción media y sur del estero el azolvamiento queda evidenciado con las amplias áreas expuestas durante periodos de bajamar. Los sedimentos que caracterizan a las unidades geomorfológicas de pantanos de manglar y marismas son limo-arcillosos (lodo), con alto contenido de materia orgánica lo que infiere de acuerdo con el diagrama de Hjulström, ambientes de baja energía, en donde las velocidades de las corrientes asociada al flujo y reflujo de marea se aproximan a cero.



*Figura 2.* Batimetría y geomorfología.

Como parte de las unidades geomorfológicas en la región aledaña al estero El Chisguete, se encuentra la llanura aluvial (Figura 2), con predominio de depósitos cuaternarios, presenta pendiente suave y lomeríos de hasta diez metros de altura, los cuales corresponden a dunas estabilizadas con vegetación xerófila. La red hidrográfica en la región del estero es nula, ya que los pocos arroyos que descienden desde las sierras pierden continuidad en la llanura, por lo que ninguno desemboca al mar.

Las playas arenosas se restringen a la parte media este del estero y se prolongan hasta la boca del estero La Herradura, así como formando las caras externas de las barreras arenosas (flechas de barrera) a ambos lados de la boca del estero El Chisguete; en donde como parte emergida de dichas barreras se encuentra el mejor desarrollo de dunas multidireccionales activas, con alturas de 0.5 a 1.5 m, integradas al igual que las playas por arena fina de muy bien clasificada en dunas y moderadamente clasificada en playas (2.5-3.0 Ø).

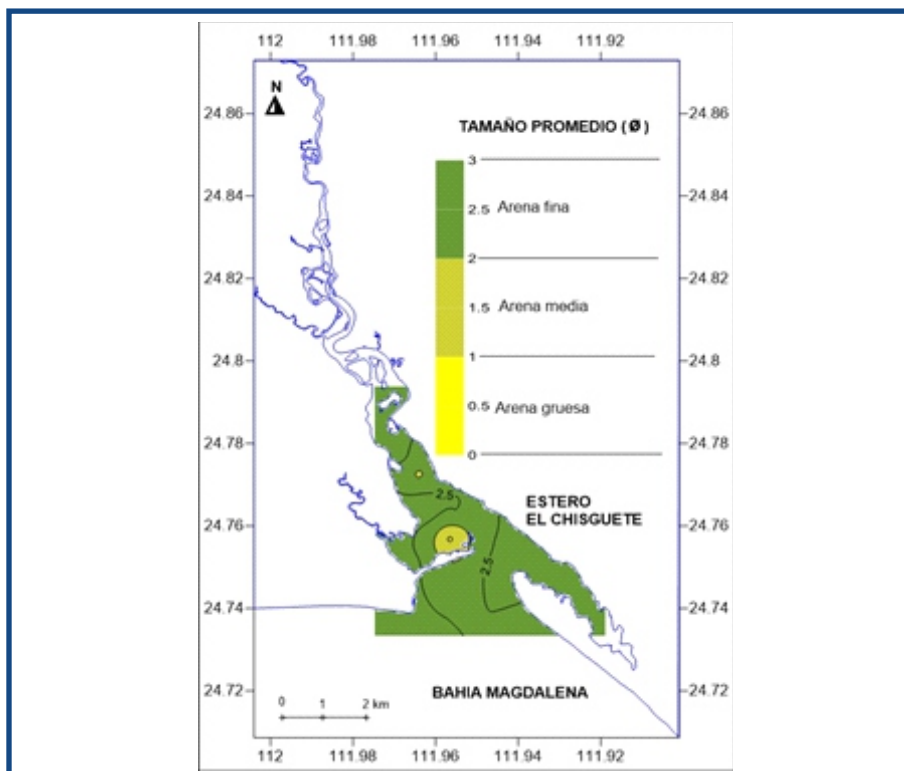
El desarrollo y evolución de las barreras destaca en la geomorfología del estero (Figura 2); la ubicada en la porción occidental (E) presenta un desarrollo en dirección noreste y la ubicada en la porción oriental (W) hacia el noroeste, cuyo mejor desarrollo y evolución ha dado lugar a la formación de una pequeña laguna conocida como estero La Herradura.

Dada la importancia del desarrollo y evolución de las barreras en la geomorfología del estero El Chisguete, esto se retoma en el apartado de morfodinámica.

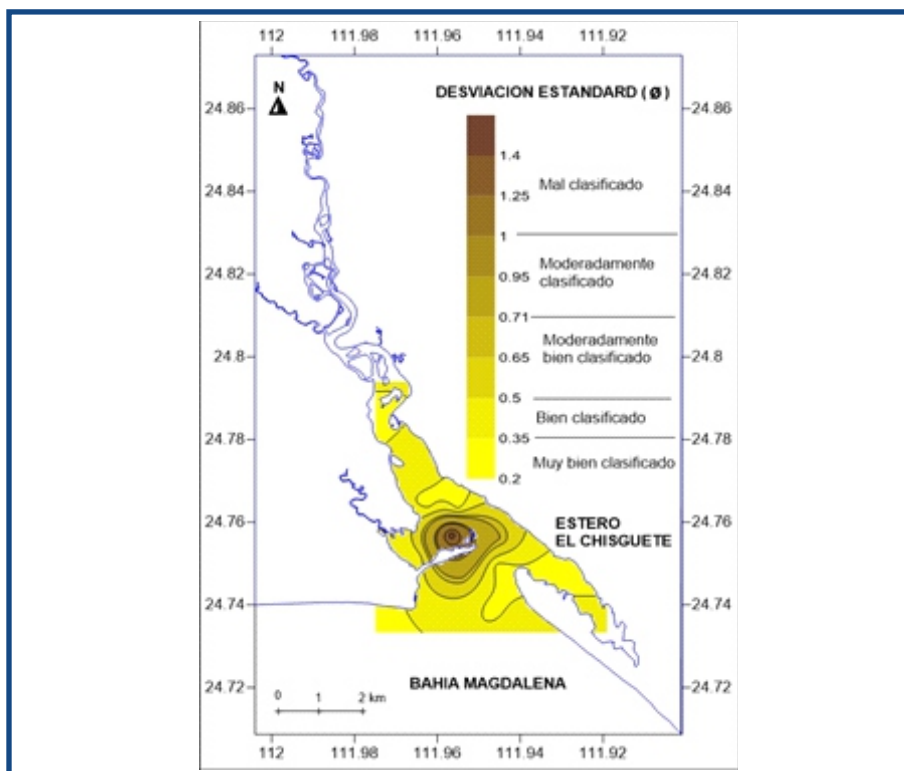
### **Sedimentos**

Los sedimentos dentro del estero corresponden a arenas de fina muy bien clasificada a media, mal clasificada (Figura 3, 4), cuyas características son similares a los sedimentos de las dunas activas; lo que sugiere que estas son una fuente importante de aporte de sedimentos al estero. La distribución de isolíneas de tamaño promedio, clasificación y asimetría (Figura 3, 4, 5), indican que la distribución de sedimentos al interior del estero se encuentra influenciada por la batimetría; la arena fina en el rango de 2.0 a 2.5  $\phi$ , de bien a moderadamente clasificada y casi simétrica se distribuye siguiendo el curso del canal de mareas; mientras que la arena fina en el rango de 2.5 a 3.0  $\phi$ , de bien a moderadamente clasificada y muy asimétrica hacia sedimentos finos, se encuentra a ambos lados del canal de mareas. La arena media (1.0 a 2.0  $\phi$ ), mal clasificada y muy asimétrica hacia sedimentos gruesos, se encuentra formando concentraciones aisladas; en donde dicha asimetría es conferida por la presencia de abundantes conchas o fragmentos de estas.

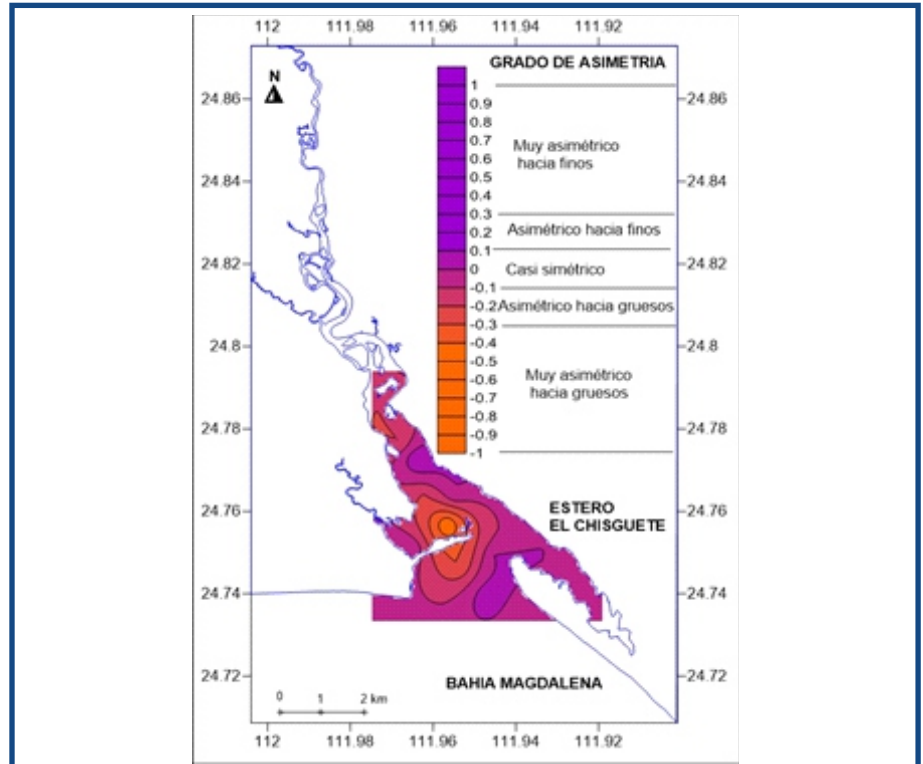
En este contexto resulta conveniente mencionar que la simetría o sesgo (SK  $\phi$ ) es un parámetro que se considera particularmente sensible a la influencia del medio ambiental; como lo es el nivel de energía requerido para transportar partículas sedimentarias (Chávez y Álvarez, 2006). Dicho nivel de energía se refleja en los cambios morfológicos, generados por los agentes impulsores, destacando la acción del viento y la onda de mareas. La acción del viento, caracterizado a través de dos mecanismos; uno directo que consiste en su acción sobre la costa emergida y otro indirecto como agente generador de oleaje e inductor de la circulación en la costa (Jiménez, 1997); cuyo efecto directo se ve reflejado en el establecimiento de campos de dunas y el indirecto en la generación de oleaje que induce el transporte longitudinal de sedimentos y la morfodinámica de las barreras del estero El Chisguete. Mientras que la energía de la onda de marea se genera mediante las corrientes de flujo y reflujó y se refleja en la distribución de sedimentos al interior del estero.



*Figura 3.* Tamaño promedio de los sedimentos.



*Figura 4.* Desviación estándar de los sedimentos.



*Figura 5.* Grado de asimetría o sesgo (SK Ø) de los sedimentos.

Los registros de dichas corrientes en el estero indican una tendencia durante el flujo de marea hacia el noroeste, con velocidades de entre 20 a 100  $\text{cm s}^{-1}$  y durante el reflujó hacia el suroeste, con velocidades de 15 a 55  $\text{cm s}^{-1}$ , observándose las mayores velocidades para ambos casos en el canal de mareas.

De acuerdo con el parámetro de Shields, para erosionar del lecho partículas en el rango de 2.0 a 3.0 Ø (arena fina; 0.25 a 0.125 mm), el valor crítico de velocidad de corriente es de 17  $\text{cm s}^{-1}$ , cuyo orden de magnitud es consistente con la velocidad obtenida en el diagrama de Hjulström de 20  $\text{cm s}^{-1}$ , para erosionar y mantener en movimiento dichas partículas. Por lo que de acuerdo con lo anterior las corrientes de marea son el principal agente hidrodinámico al interior del estero y tienen capacidad para erosionar y transportar los sedimentos antes referidos, con mayor eficiencia durante los periodos de flujo de marea; tal como lo manifiesta la tendencia del desarrollo hacia el interior del estero de las barreras arenosas a ambos lados de la boca del estero.



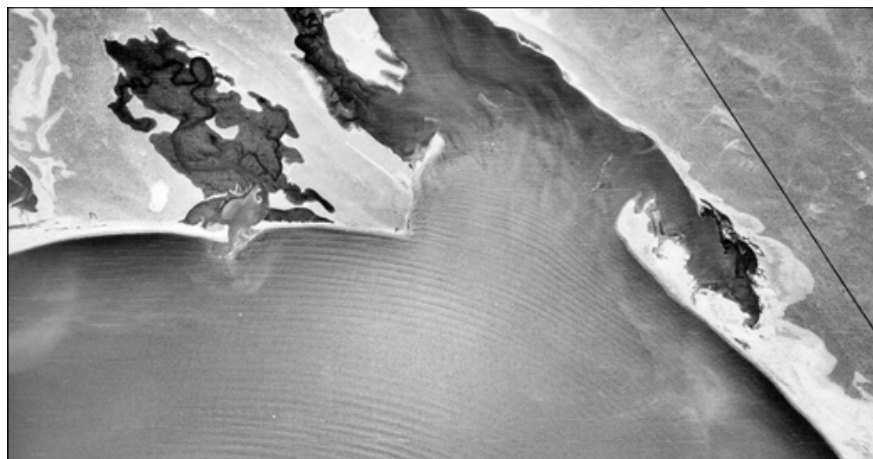
## **Morfodinámica**

Como se ha referido anteriormente, las barreras a ambos lados de la boca del estero El Chisguete son elementos típicos de costas sedimentarias, en cuya génesis se requiere de abundante material sedimentario y una dinámica litoral lo suficientemente intensa para mantener su evolución y conservación (Chávez, 2020). En dicha dinámica litoral, el oleaje se considera como el agente energético más importante, por ser las costas sedimentarias altamente modificables por la movilización del material, debido a las corrientes transversal y longitudinal, inducidas durante el proceso de rotura del oleaje; siendo el transporte longitudinal el más importante, ya que es el principal responsable de los cambios morfodinámicos (acreción-erosión) en planta y por lo tanto de los cambios a largo plazo de las playas (Chávez 2022).

En el estero El Chisguete pese a ser un cuerpo de agua marginal, la génesis de las barreras a ambos lados de la boca (E-W), se ha visto favorecida por encontrarse formando parte de Bahía Magdalena, que es la laguna costera de mayores dimensiones del complejo lagunar; lo que permite que los vientos del norte y noroeste que prevalecen en la región generen oleaje local y una dinámica litoral suficientemente intensa para movilizar el suministro de sedimentos.

Según Saldívar (2007), el oleaje en la boca principal de Bahía Magdalena muestra alturas significantes de 0.6 a 1.1 m., con periodos de 9 a 18 segundos; suficiente para movilizar sedimentos en el rango de 2 a 3  $\phi$  (arena fina), ya que de acuerdo con la estimación realizada de altura de ola para la iniciación de movimiento (ecuación de Hellermeier) a una profundidad de (h) de 0.5 m, el oleaje mínimo requerido para movilizar dichos sedimentos es de (H) 0.12 m, con periodo (T) de 6 segundos.

Un aspecto a destacar del oleaje en Bahía Magdalena, es que este se propaga en trenes de onda paralelos en la zona de mayor profundidad, los cuales conforme se acercan al frente de playa del estero y disminuye la profundidad, se refractan incidiendo en ángulo oblicuo en la línea de costa a ambos lados del estero (Figura 6); lo que condiciona un eficiente transporte longitudinal de sedimentos y por lo tanto, favorece el proceso de evolución y mantenimiento de las barreras arenosas a ambos lados del estero El Chisguete.



**Figura 6.** Incidencia de los trenes de olas en la entrada del estero El Chisguete.

Dicho proceso se resume en la tabla I y figura 7, como cambios morfodinámicos, lo que permite identificar las variaciones en tiempo y espacio para el periodo de 1973-2022. Los principales cambios en la geomorfología del estero se observan en la reducción de amplitud de la boca, pasando de 2.87 km en 1973 a 0.74 km en 2022. Esta reducción se da como respuesta en el incremento de longitud de las barreras, cuyo proceso morfodinámico se presenta en los gráficos de la figura 7; en los que se observa periodos de depositación y erosión, con tendencia en lo general en incremento tanto en la longitud como de área de las barreras.

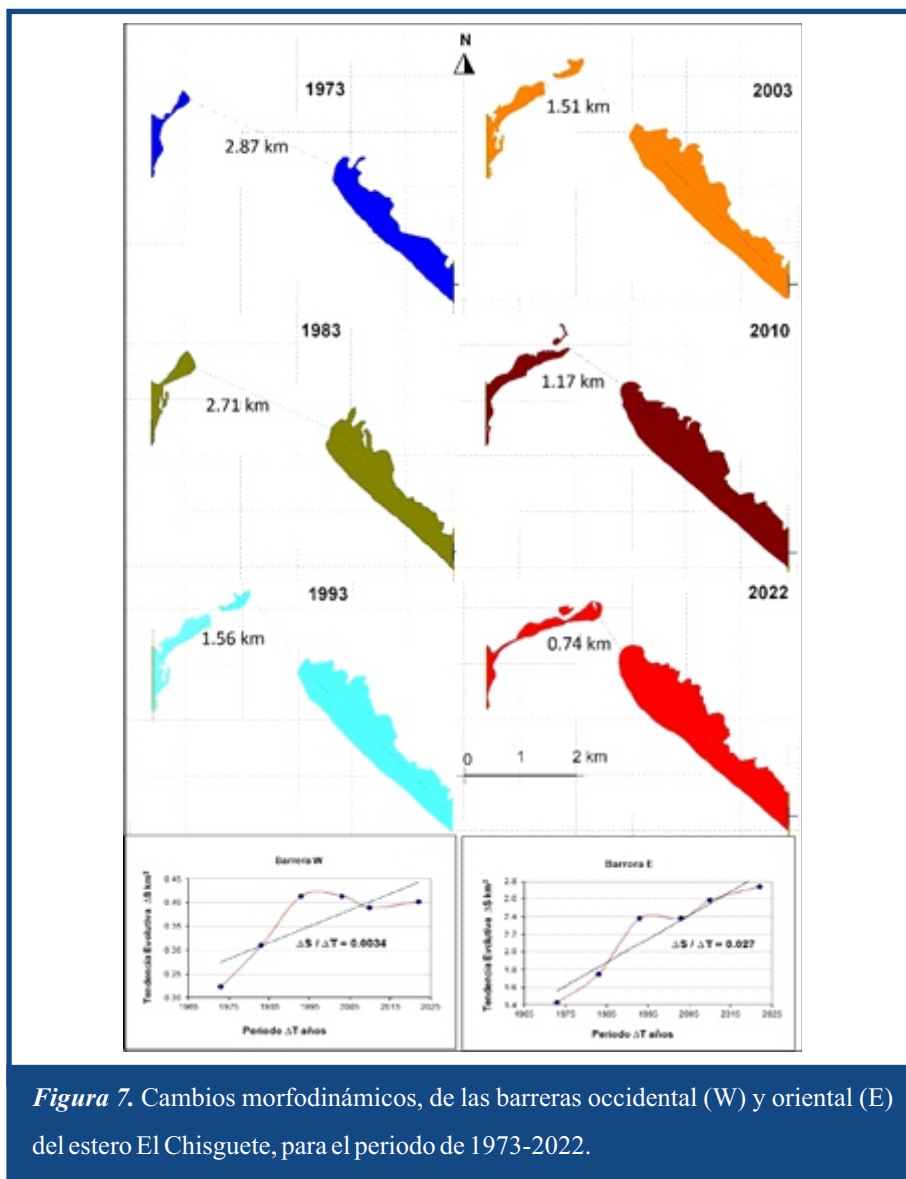
**Tabla I.** Resumen morfodinámico, de las barreras occidental (W) y oriental (E) del estero El Chisguete, para el periodo de 1973 – 2022.

Año	Barrera W	Barrera W	Longitud (km)	Barrera E	Barrera E	Longitud (km)	Boca (km)
	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)		Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)		
1973	0.22	4.06	0.95	1.43	8.65	2.99	2.87
1983	0.31	5.09	1.12	1.75	9.60	3.14	2.71
1993	0.41	6.62	2.18	2.38	10.83	3.88	1.56
2003	0.41	6.62	2.19	2.38	10.82	3.96	1.51
2010	0.39	6.21	1.71	2.58	11.30	4.25	1.17
2022	0.40	7.46	2.25	2.74	10.88	4.27	0.74





De acuerdo con Chávez (2022), la respuesta evolutiva de las barreras arenosas en la región peninsular de Baja California se da asociada a la incidencia aleatoria de huracanes; con periodos de poca incidencia erosión y mayor incidencia acreción, lo que explica el comportamiento variable en tiempo tanto en magnitud como en tipo de respuesta de las barreras. Sin embargo, es de hacer notar, según la información de la tabla I y los polígonos de referencia de la figura 7, la diferencia en la respuesta evolutiva entre las barreras oriental y occidental; ya que la barrera en la porción oriental de la boca del estero (E) muestra un mejor desarrollo y estabilidad, siguiendo la tendencia de un eje en dirección sureste-noroeste, el cual aumentó del año de 1973 al 2022 en 1.3 km y en área de la barrera a 1.3 km<sup>2</sup>. Mientras que la barrera occidental (W) muestra un desarrollo inestable, evidenciado por el desplazamiento de su eje de sur a norte con tendencia rotatoria en el sentido de las manecillas del reloj (figura 8); ya que para el año de 1973 la dirección de su eje, era en sentido sur suroeste-noreste y para el 2022 la dirección ha cambiado en dirección de oeste suroeste-este noreste (45°), en cuyo proceso la barrera incrementó su longitud en 1.3 km y su área en 0.18 km<sup>2</sup>. Dicho incremento no ha sido continuo, ya que este se encuentra asociado para el año de 1993 a la formación de un islote frente a la barrera (figura 7); el cual para el año 2010, parte de su material sedimentario ha sido incorporado a la barrera W.



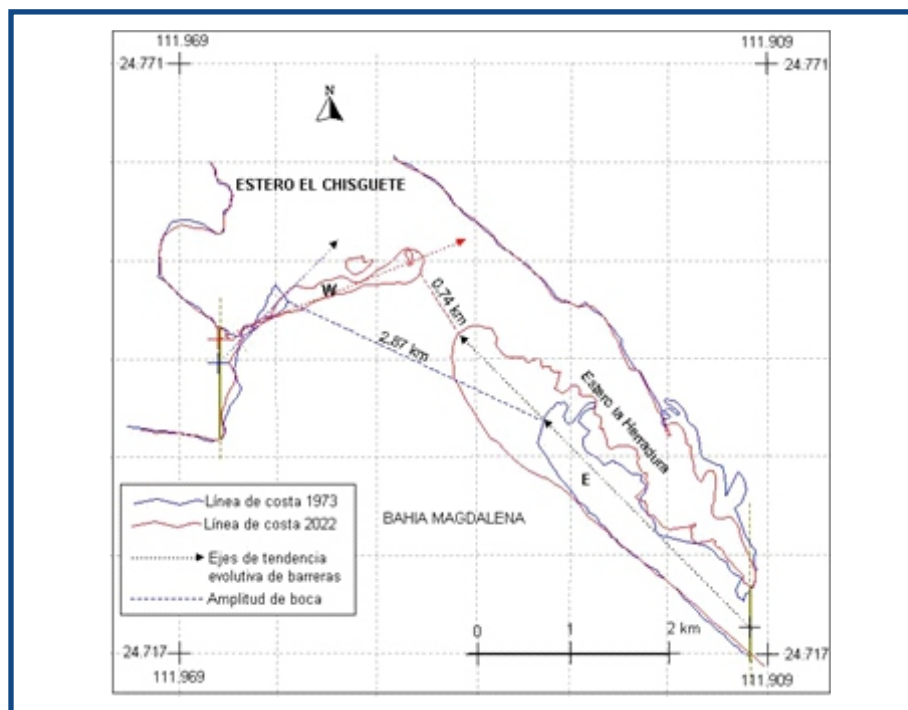
Resulta conveniente destacar que el desplazamiento y la tendencia rotatoria del eje evolutivo de la barrera W, se ha visto asociado a la erosión de la línea de costa al sur de la barrera (figura 8); lo que implica reducción o interrupción del suministro de sedimentos hacia la porción occidental del estero; manifestando que la intensidad de los agentes dinámicos actuantes en la franja costera (viento, mareas, oleaje) se han mantenido con la misma intensidad y en donde el material erosionado es aportado mediante el transporte longitudinal hacia la barrera por lo que ha mantenido a la fecha su evolución progradante.

De acuerdo con lo anterior, para los periodos de tiempo analizados,

ambas barreras (figura 7) muestran un comportamiento evolutivo variable en el tiempo, tanto en magnitud como en tipo de respuesta erosión-acreción. Por lo que, de acuerdo con Chávez (2022), al segregar los datos en épocas equivale a evaluar el comportamiento no-lineal del complejo, manifestando, que la respuesta de los agentes que actúan sobre la costa no se puede interpretar como una causa y efecto constante, ya que dicha respuesta se da de manera diferenciada, tanto en tiempo como en espacio.

El proceso morfodinámico antes descrito para las barreras E y W, se resume en la figura 8, la cual corresponde a los cambios morfológicos registrados entre la primer y última línea de costa de los polígonos de las barreras, disponibles al momento de realizar el presente trabajo; lo que representa el resultado integrado de la acción de los diferentes agentes dinámicos actuantes con su consecuente tipo de respuesta. Por lo que a medida que aumenta el lapso entre las líneas de costa se produce un filtrado de los procesos a corto plazo (Crowell, Leatherman, Buckley, 1993), permitiendo estimar, de forma más o menos directa, el comportamiento evolutivo a largo plazo de las barreras (Chávez, 2022). Resultando de acuerdo a los gráficos de la figura 7, una tasa evolutiva ( $\Delta S / \Delta T$ ) de acreción en el periodo de 49 años para la barrera E en  $0.027 \text{ km}^2$  y para la barrera W en  $0.0034 \text{ km}^2$ ; lo que equivaldría a un “incremento lineal neto” si lo hubiese de 27000 y 3400  $\text{m}^2/\text{año}$  respectivamente.

La información anterior destaca para ambas barreras un estado evolutivo acumulativo y progradante, en donde las variaciones observadas a la fecha manifiestan un proceso de remodelación de origen natural, cuya tendencia en la dirección de sus ejes indica el transporte longitudinal neto, el cual aporta sedimentos hacia el interior del estero; por lo que la evolución de las barreras está contribuyendo al azolvamiento del canal de mareas, reducción de la boca y por tanto la comunicación con Bahía Magdalena.



*Figura 8.* Mapa morfodinámico de las barreras occidental (W) y oriental (E) del estero El Chisguete, para el periodo de 1973 – 2022.

## DISCUSIÓN

La geomorfología y evolución en la región aledaña y en el estero El Chisguete, se encuentra controlada por procesos y agentes dinámicos exógenos. Destacando en la llanura aluvial los depósitos terrígenos Cuaternarios y como agentes dinámicos, el viento y los escurrimientos pluviales asociados principalmente a la incidencia aleatoria de depresiones, tormentas tropicales y huracanes; los cuales producen escurrimientos torrenciales aportando material sedimentario hacia la franja costera. En el estero predominan los depósitos de origen marino y eólico, y como agentes dinámicos al interior del estero las corrientes de flujo y reflujos de mareas; cuyo efecto se ve reflejado en la distribución de sedimentos y formación de bajos arenosos, que quedan expuestos durante los periodos de bajamar. Hacia la entrada del estero, además de las corrientes de marea, destaca como agente dinámico el oleaje de tipo local, que ha generado el transporte longitudinal de sedimentos, dando origen y mantenimiento evolutivo a las barreras arenosas a ambos lados



del estero, y en cuya parte emergida se aprecia la acción del viento con el desarrollo de campos de dunas; por lo que desde el punto de vista geomorfológico el estero corresponde a una laguna costera restringida.

En este contexto entre el aporte sedimentario y la hidrodinámica se establece un balance sedimentario, que ha dado origen a los ambientes de depósito de marismas, pantanos de manglar, barreras, dunas y playas y que de manera natural se acoplan estrechamente como ecosistemas vecinos, que en conjunto dan forma a costas sedimentarias complejas (Chávez, 2023), lo cual caracteriza a todo el complejo lagunar Santo Domingo-Magdalena-Almejas.

En cuanto a la morfodinámica, y pese a que el aporte sedimentario se encuentra condicionado a la aleatoriedad de incidencia de fenómenos meteorológicos, el balance sedimentario se ha mantenido para el periodo analizado (1973-2022), tal como lo manifiesta el desarrollo acumulativo y progradante de las barreras, así como la acumulación de sedimentos que forman bajos arenosos y el azolvamiento del canal de mareas del estero El Chisguete. En este sentido es conveniente mencionar que los procesos acumulativos y progradantes caracterizan a las costas sedimentarias por lo que, desde el punto de vista geológico, las lagunas costeras se consideran como ambientes efímeros por su tendencia natural al azolvamiento; sin embargo, como en el presente caso, el incremento de las barreras, reducción de la entrada y azolvamiento del canal de mareas en una laguna en donde en su costa se encuentre una ciudad, los procesos de azolvamiento representarían un problema; puesto que este surge cuando la evolución costera no es la esperada por el hombre (Sánchez, Jiménez, 1994). Cabe mencionar que las principales evidencias de impacto ambiental en las costas, se encuentran asociadas a la tendencia de crecimiento poblacional e incremento de las áreas urbanas (Chávez, 2022, 2023). Dicho incremento generalmente se da carente de planificación y ordenamiento, lo que se traduce en las cuencas hidrográficas en la pérdida de escurrimiento efectivo hacia la costa y por tanto de aporte y balance sedimentario, esto se refleja en la pérdida parcial o total de los ambientes de depósito, o bien ecosistemas costeros, y en la erosión de barreras arenosas y línea de costa como respuesta inducida por la actividad humana (Chávez, 2020).



Considerando la información anterior, y aun cuando a lo largo del complejo lagunar Santo Domingo-Magdalena-Almejas se ha intensificado la actividad humana, a la fecha, hacia la periferia del estero El Chisguete, no se encuentra ningún asentamiento humano de importancia; por lo que podemos concluir, desde el punto de vista de los aspectos físico-morfodinámicos, que el estero mantiene un buen estado de conservación en donde los cambios en el periodo analizado (1973-2022), se presentan como una remodelación de origen natural. Lo que permite emplear el estado evolutivo de las barreras arenosas (acumulativo y progradante) como geoindicador ambiental, y discriminar en futuros cambios, los causados por efectos naturales de los inducidos por la actividad humana.

## ► BIBLIOGRAFÍA

- Bakun, A., & Nelson, C. S. (1977).** Climatology of upwelling related processes off Baja California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*. Rep. 19:107-127.
- CERC. (1984).** Shore Protection Manual. U.S. Army Coastal Engineering Research Center.  
<https://luk.staff.ugm.ac.id/USACE/USACE-ShoreProtectionManual1.pdf>
- Chávez, L. S., & Álvarez, A. AD. (2006).** Batimetría, sedimentos y ambientes de depósito en la laguna costera de Guásimas Sonora, México. *Investigaciones Geográficas*, 60, 7-21.
- Chávez, L. S. (2020).** Efecto antrópico en la geomorfología y morfodinámica de la franja costera de la Laguna de La Paz, Baja California Sur, México. *Investigaciones Geográficas*, (e60084), 1- 15. doi: dx.doi.org/10.14350/rig.60084
- Chávez, L. S. (2022).** Evolución reciente de la barrera El Mogote como indicador ambiental, Baja California Sur, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 18(1), 6-21. doi: 1033154/rln.2022.01.02
- Chávez, L. S. (2023).** Franja costera y sus ecosistemas: problemática e importancia. *Recursos Naturales y Sociedad*, 9 ( 1 ) , 4 9 - 6 3 . doi : org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.01.0005
- Contreras, E. F., & Casillas, G. JR. (1992).** Importancia del intercambio mareal en lagunas costeras. *Universidad y Ciencia*, 9 (18), 22-27.
- CRM. (1999).** *Monografía Geológico-Minera del estado de Baja California Sur* (1 ed.). Cd. México: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- Crowell, M., Leatherman, S. P., & Buckley, M. K. (1993).** Shoreline change rate analysis: long term versus short term data. *Shore and Beach*, 61 (2), 13-20.
- Fredman, G. M. & Sanders, J.E. (1978).** *Principles of sedimentology* (1 ed.). Indianapolis, US: John Wiley & Sons.



- Funes, R. R., Gómez, G. J., & Palomares, G. R. (2007).** *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena* (1 ed.). Cd. México: CICIMAR-IPN.
- INEGI. (1973).** **Fotografías aéreas zona 47A, línea 7**, fotografías 9, 10, 11; línea 8 fotografías 29, 30, 31. 1: 70, 000. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1983).** Carta topográfica Las Delicias G12C57 [Mapa]. 1: 50, 000. Segunda impresión. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1983).** Carta topográfica Puerto Alcatraz G12C67 [Mapa]. 1: 50, 000. Segunda impresión. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1993).** Fotografías aéreas, vuelo SINFA, zona G 12-10-11, línea 48 fotografías 3, 4, 5; línea 49 fotografías 7, 8, 9. 1: 70, 000. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (1996).** *Estudio Hidrológico del estado de Baja California Sur* (1 ed.). Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2003).** Carta topográfica Las Delicias G12C57 [Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2003).** Carta topográfica Puerto Alcatraz G12C67 [Mapa]. 1: 50, 000. Primera impresión. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jiménez, J. A. (1997).** Evolución costera en el Delta del Ebro. Un proceso a diferentes escalas de tiempo y espacio. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=243819>
- Jiménez, J. A., Gracia, V., Sánchez, A. A., Stive, M. J. F., & Girolamo, P. (2000).** *Costal Monitoring and Data Analysis Along The Abruzzo Coast*. Barcelona España. Universitat Politecnica de Catalunya.
- Lankford, R. R. (1977).** Coastal Lagoon of México. Their Origin and Clasification. En Wiley, M. (Ed.), *Estuarine Processes* (pp. 182-215). New York: Academic Press, Inc.
- Latorre, C., & Penilla, L. (1988).** Influencia de los Ciclones en la Precipitación de Baja California Sur. *Atmósfera*, 1(2), 99-112.
- Lewis, D.W. (1984).** *Practical Sedimentology*. (1 ed.). New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- Marinone, S. G. & Lavin, M. F. (1977).** Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California. En M. F. Lavin (Ed.), *Contribuciones a la Oceanografía Física en México* (pp. 113–139). Ensenada, B. C. México: Unión Geofísica Mexicana.
- Obeso, N. M., Gaviño, R. JH., & Jiménez, I. AR. (1999).** Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. *Océanides*, 14 (2), 79-88.
- Orzo, S. M., Zaytsev, O., & Saldivar, R.M. (2007).** Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En Funes, R. R., Gómez, G. J., Palomares, G. R. (Ed.), *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena* (pp. 1- 28). Cd. México: CICIMAR-IPN.
- Ripa, P., & Velázquez, G. (1993).** Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California. *Geofísica Internacional*, 32(1), 41-56. doi: 10.22201/igeof.00167169p.1993.32.1.1151



- Saldívar, R. M. (2007).** *Variabilidad hidrodinámica en los canales del sistema lagunar Magdalena-Almejas. (Tesis Maestría).* Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B. C. S. México. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/14204>
- Salinas, Z. C. Lluch, C. D. Hernández, V. S. (1992).** Anomalías de Precipitación en Baja California Sur Durante 1990. *Atmósfera*, 5, 79-93.
- Sánchez, A. A. & Jiménez, A. J. (1994).** Ingeniería de playas (I): Conceptos de morfología costera. *Ingeniería del Agua*, 1 (2), 97-114.
- SAS Planet. (2003).** Imagen satelital. IMG-Here.com-Hybrid. <https://mappinggis.com/2014/09/como-descargar-imagenes-de-google-bing-etc/>
- SAS Planet. (2022).** Imagen satelital. IMG-Bing. <https://mappinggis.com/2014/09/como-descargar-imagenes-de-google-bing-etc/>
- Sedimentología para todos (2022).** Movimiento de los sedimentos, aplicando el diagrama de Hjulström. <http://sedimentologia4all.blogspot.com/2016/03/el-diagrama-de-hjulstrom-nos-relaciona.html>
- Serra, S. (1971).** Hurricanes and Tropical Storms of the West Coast of México. *Monthly Weather Review*. 99(4), 302-308.
- SPOT. (2010).** Imagen satelital pancromática E55593001003302T2A00007. EADS, Matra Systemes & Information.
- SPOT. (2010).** Imagen satelital pancromática E55593011008122T2A00002. EADS, Matra Systemes & Information.
- U.S. Army. (1995).** Coastal Geology. Engineer Manual, 1110-2-1810. [https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM\\_1110-2-1810.pdf](https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1810.pdf)
- Zaytsev, O., Cervantes, D. R., Montante, O., & Gallegos, G. A. (2003).** Coastal upwelling activity of the Pacific shelf of Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography*, 59, 489-502. doi: 10.1023/A:1025544700632