



**CONGRESO AMIP 2017**  
**“ACCIONES DECISIVAS PARA JUNTOS POTENCIAR NUESTRA EFICIENCIA  
PORTUARIA, MARÍTIMA Y COSTERA”**  
**7 al 8 de Septiembre de 2017 en el histórico Puerto de Veracruz**

**“REVISIÓN DE LAS ALTERACIONES ANTRÓPICAS SOBRE EL ESTERO DE  
TEACAPÁN, ESCUINAPA, SINALOA.”**

Brando Israel Vazquez Heredia<sup>1</sup>, Cuauhtémoc Franco Ochoa<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Facultad de Ingeniería Campus Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa.

sinaloa5\_brando@hotmail.com, cfrancoo@uas.edu.mx

**RESUMEN**

El estero de Teacapán se localiza en la costa sur del estado de Sinaloa. Actualmente, se puede observar en el estero importantes alteraciones en su entorno debido a numerosas intervenciones antrópicas en las últimas décadas. En consecuencia, se ve incrementado el riesgo de erosión e inundación al que está expuesto la población del lugar.

Ante este panorama, y con la finalidad de proponer medidas que mejoren las condiciones actuales del lugar, en el presente trabajo se realiza una revisión los cambios hidro-morfodinámicos inducidos por la actividad del hombre, así como establecer el punto de partida para estudios futuros.

FUNDADA EN 1966

ASOCIACIÓN MEXICANA DE INFRAESTRUCTURA  
PORTUARIA, MARÍTIMA Y COSTERA, A.C.

## CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Estero de Teacapán se localiza en la costa sur del estado de Sinaloa; forma parte del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava-Majahual el cual está conformado por un extenso complejo de esteros y lagunas costeras de agua salobre, grandes extensiones de vegetación natural, lodazales o pantanos y cañadas (Figura 1).

Inicialmente la única salida a mar abierto del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava- Majahual era por la Boca de Teacapán, sin embargo se construyó una boca artificial con la apertura del Canal de Cuautla entre 1974 y 1976, sobre la barra de Novillero en la costa norte del estado de Nayarit [1].

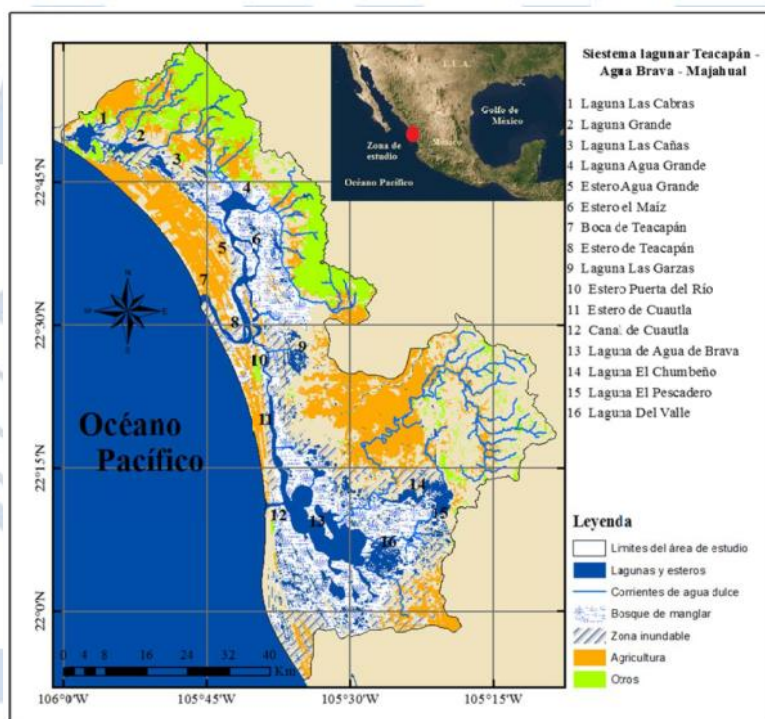


Figura 1.- Localización de la Boca y el Estero de Teacapán dentro del Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava-Majahual [1].

En general, el Estero de Teacapán se encuentra bajo considerables condiciones de alteración antrópica, tanto por obras construidas en su interior como en sitios que ejercen una influencia directa sobre este. En consecuencia, se ve incrementado el riesgo de erosión e inundación al que está expuesto la población del lugar.

Ante la necesidad evidente de establecer medidas de prevención, se requiere comprender los procesos que intervienen en ella. En este sentido, el presente trabajo tiene por objeto principal realizar una revisión los cambios hidro-morfodinámicos inducidos por la actividad del hombre, así como establecer el punto de partida para estudios futuros.

## DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Actualmente, se puede observar en el estero de Teacapán importantes alteraciones en su entorno debido a numerosas intervenciones antrópicas en las últimas décadas. Las principales causas de estas alteraciones son:

- Apertura del Canal de Cuautla
- Construcción del malecón
- Construcción de espigones de roca

### Apertura del Canal de Cuautla

La apertura del canal de Cuautla ha generado diversas alteraciones en el funcionamiento del Sistema Lagunar estuarino de Teacapán – Agua Brava – Majahual, tales como, cambios en los patrones de circulación del agua, incremento en los niveles de concentración de sales en el suelo y agua, y la separación del sistema en dos partes hidrodinámicamente independientes (subsistemas de Cuautla y Teacapán) (Figura 2) [1].

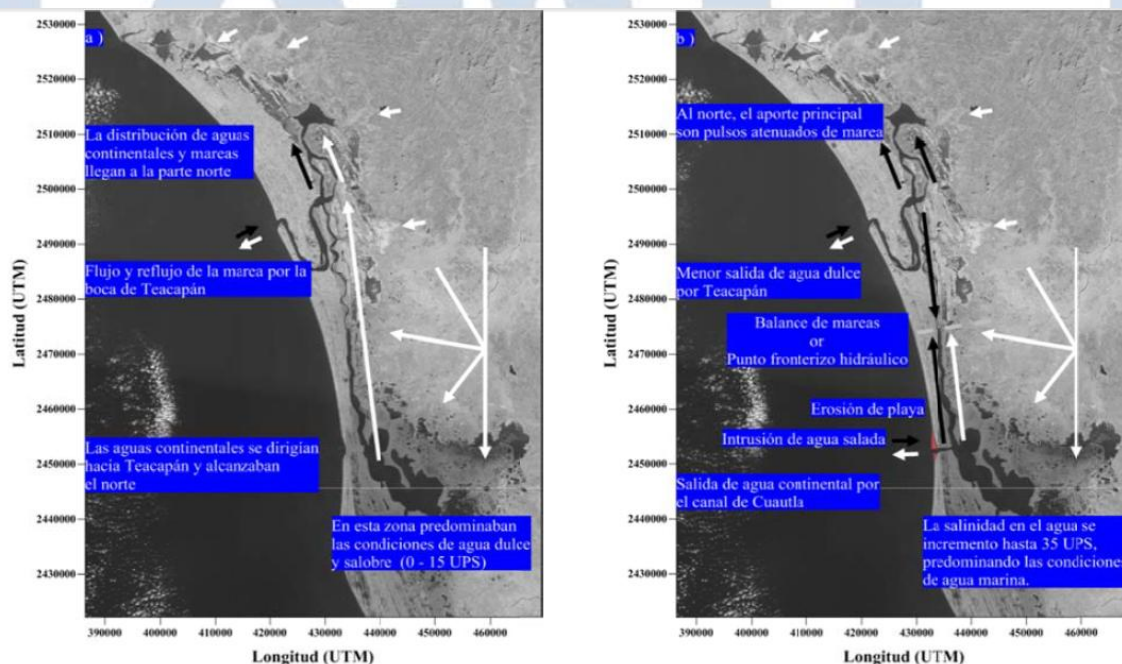





Figura 2.- a) año 1970 sin el canal, b) año 2013 con el canal. Símbolos:  Agua continental,  agua marina y  Erosión de playa [1].

### Construcción del malecón

El poblado de Teacapán presenta problemas de inundación debido a la mala planeación en la construcción del malecón (Figura 3), este se construyó por debajo de la cota de marea viva en pleamar, por lo que al presentarse este tipo de marea o con la llegada de un ciclón o tormenta, el agua comienza a rebasar esta cota y comienza a inundar al poblado.





Figura 3.- Construcción del malecón en el margen derecho del estero. Imágenes tomadas de Google Earth.

Además el malecón al ser una estructura rígida (clasificada como ingeniería dura) y al orientarse de forma paralela a las corrientes estuarinas, imposibilita la creación de zonas de acreción y favorece a la erosión debido a que los sedimentos no se retienen.

#### **Construcción de espigones de roca**

Otra causa de la erosión presente en el estero es la mala planeación en la construcción de espigones (Figura 4) cerca de la Boca de Teacapán y al interior del estero en su margen derecha. Los espigones de roca (estructuras rígidas) se construyeron en exceso sin haber realizado estudios previos, por lo que en vez de retener sedimentos (arena) se creó una zona de erosión al interior y la arena se depositó en el extremo norte de la boca como se observó en la Figura 5.



Figura 4.- Aumento de construcción de espigones de roca en la Boca de Teacapán. Imágenes tomadas de Google Earth.



Las costas son áreas dinámicas que están en constante cambio, es decir cambian su forma en planta y en perfil a lo largo del tiempo debido al transporte de sus sedimentos ya sea de forma natural o por acciones humanas [2], sin embargo cuando en una costa salen más sedimentos de los que entran entonces se crean zonas de erosión y en caso contrario (si la entrada de sedimentos aumenta) se crean zonas de acreción.

En la Figura 5 se observa la evolución histórica de los márgenes del Estero de Teacapán en particular de la Boca de Teacapán, las flechas rojas indican zonas de acreción, es decir gran parte de los sedimentos (arena) erosionados al interior del estero por causa de los espigones de roca se estuvieron depositando progresivamente a lo largo de los años en estas zonas.



Figura 5.- Cambios de la línea de costa en la Boca de Teacapán. Imágenes tomadas de Google Earth.



## REVISIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS

### Campo de velocidades

Mediante un análisis numérico de las condiciones hidrodinámicas del sistema lagunar estuarino se obtuvo el campo de velocidades y niveles a su interior como se muestra en la Figura 6 [1].

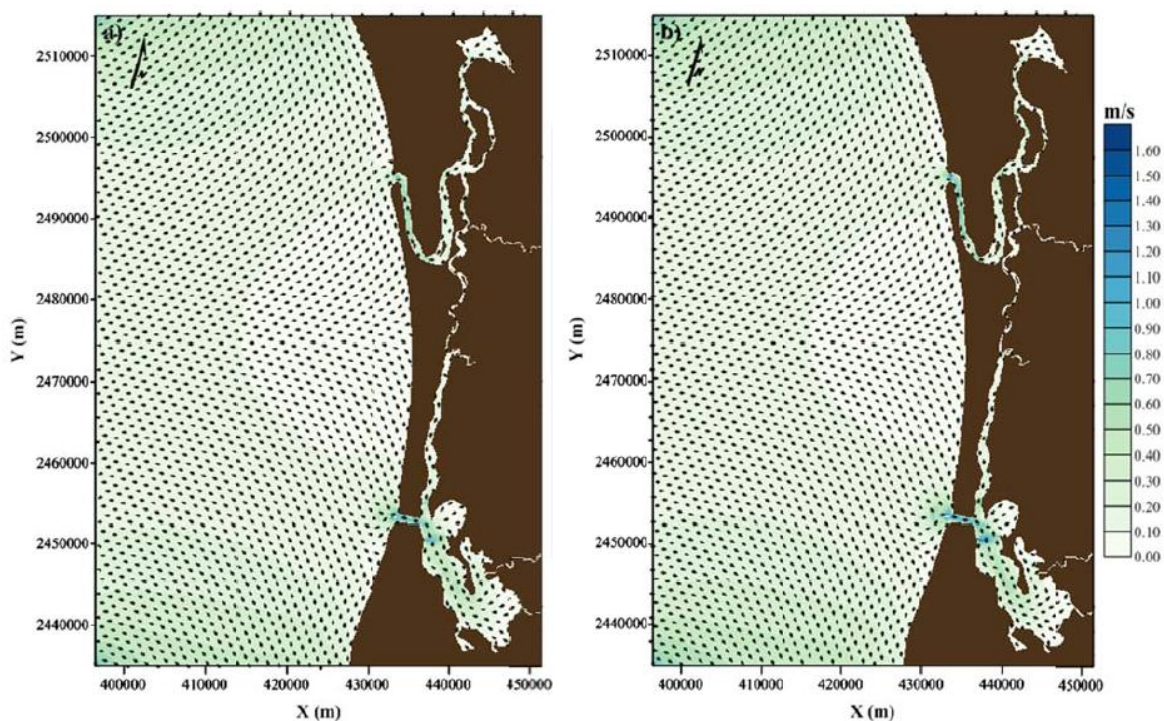


Figura 6.- Campo de velocidades: a) durante la fase de flujo de marea, b) durante la fase de refluo de marea [1].

Como se puede observar, las máximas velocidades se presentan en la boca de Teacapán y en el canal de Cuautla, la velocidad de las corrientes al interior del canal, debido a su geometría, crece durante el flujo conforme el agua avanza hacia la laguna de Agua Brava hasta alcanzar valores del orden de 0.70 m/s y decrece durante el refluo conforme el agua sale hacia al mar a partir de valores máximos del orden de 0.90 m/s [1].

### Marea

Por otro lado, se observa que el efecto de la onda de marea que entra por la boca de Teacapán (Figura 7) sufre una disipación importante hasta llegar a la laguna de Agua Grande; mientras que al exterior la altura de marea es del orden de 1.05 m, en el interior se reduce a 0.65 m [1].

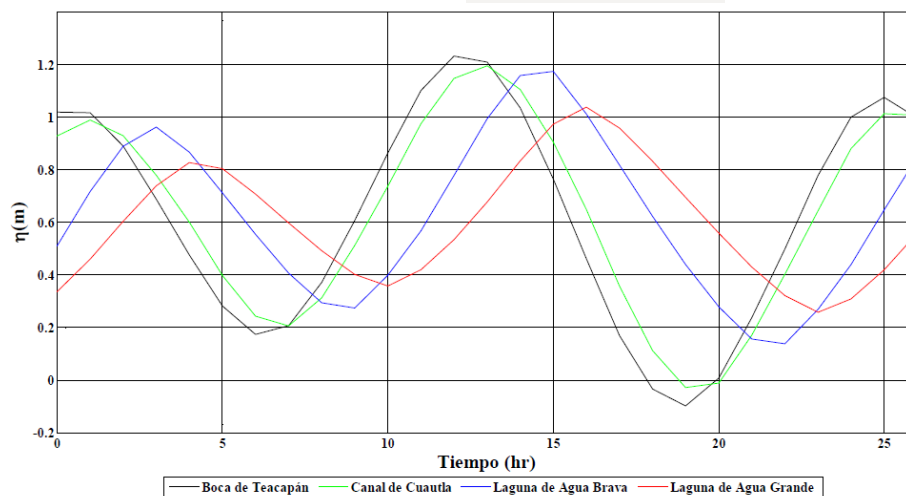


Figura 7.- La curva en color negro representa la variación del nivel de la superficie libre que se presenta en la Boca de Teacapán [1].

### Caudales

Además, se calculó volumen o gasto de agua que pasa en cada fase de marea a través del canal de Cuautla y la Boca de Teacapán, así como el gasto aportado por los ríos. Los resultados de este cálculo se presentan en la Figura 8, donde se observan los patrones del gasto a lo largo de los ciclos de marea [1].

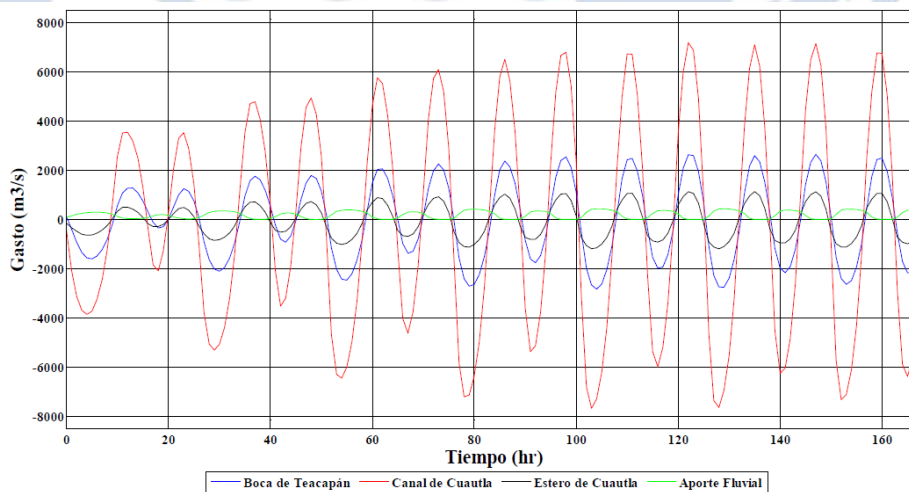


Figura 8.- Series de tiempo de gastos, la curva azul representa los gastos de la Boca de Teacapán [1].

En la Figura 8 los valores positivos de las curvas indican un gasto en dirección hacia al interior del sistema y los negativos indican un gasto en dirección hacia el mar. Obsérvese que el gasto que entra y sale por la Boca de Teacapán es casi la mitad de lo que entra y sale por el Canal de Cuautla. Al separar los gastos de los ríos del gasto total, resulta que alrededor del 30% del aporte de los ríos sale del sistema por el Estero de Teacapán, es

claro que todo el volumen de agua, que actualmente va hacia el mar, solía ir hacia el norte del sistema lagunar (antes de la construcción del Canal de Cuautla) irrigando el Estero de Teacapán [1].

### Frontera hidrodinámica

En cuanto al sistema lagunar se identificó que las corrientes que entran por la Boca de Teacapán y por el Canal de Cuautla “chocan” en cada fase de flujo de marea (Figura 9), cabe destacar que este fenómeno produce que el sistema lagunar que se extiende desde la laguna de Agua Brava, hasta la laguna Las Cabras, quede limitado hidrodinámicamente, en consecuencia el sistema trabaja en dos partes de forma casi independiente.

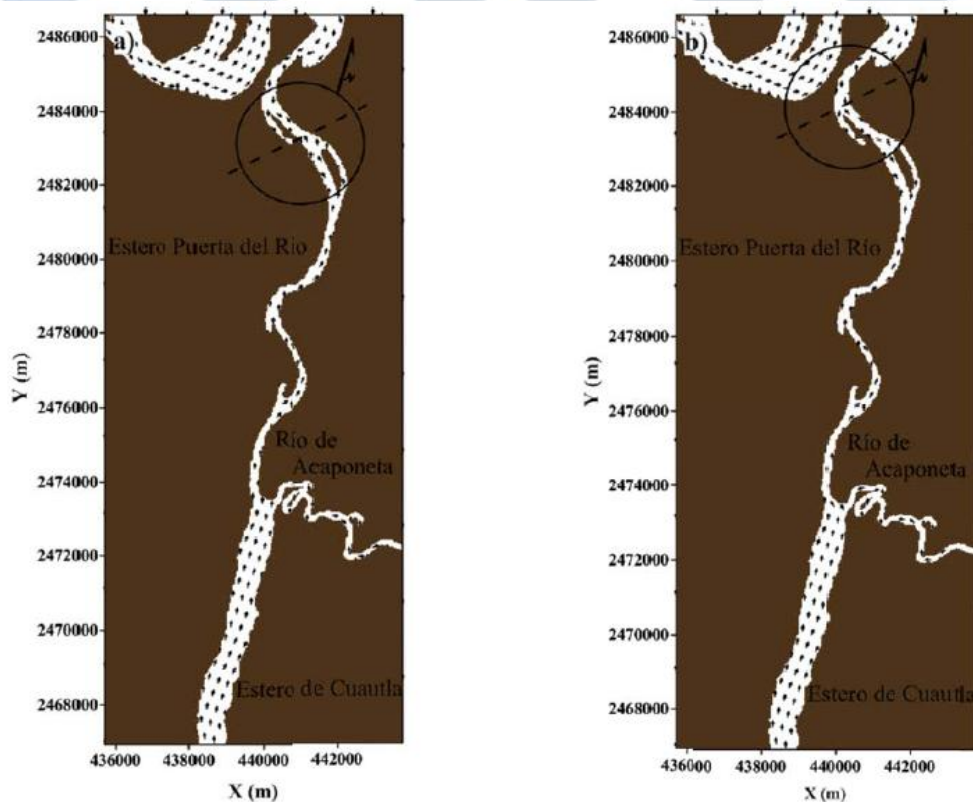


Figura 9.- Límites de la influencia de marea para: (a) marea viva y (b) marea muerta.

Por lo que desde la apertura del Canal de Cuautla, el sistema lagunar ahora se comporta como dos sistemas casi independientes, teniendo a la Boca de Teacapán y al Canal de Cuautla como sus respectivas comunicaciones con el Océano Pacífico.





## PLAN DE TRABAJO

Para proponer una medida de actuación en el estero, que resuelva de manera definitiva los problemas de erosión e inundación, se propone realizar la siguiente serie de estudios previos a la toma de cualquier decisión:

- Realizar un estudio oceanográfico, que incluya una batimetría actualizada y detallada, el movimiento de mareas, velocidad de las corrientes marinas y estuarinas, y transporte de sedimentos en el Estero de Teacapán.
- Realizar un estudio hidrológico sobre el Río de Las Cañas y las corrientes continentales que tengan influencia sobre el caudal presente en el Estero de Teacapán, incluir un análisis estadístico de los caudales que se suscitan durante la temporada de lluvias en la región.
- Realizar un estudio geotécnico con el propósito de caracterizar a los sedimentos en el fondo del estero.

## CONCLUSIONES

Con la apertura del Canal de Cuautla el sistema lagunar Teacapán-Agua Brava-Majahual quedo dividido hidrodinamicamente en dos sistemas casi independientes, por lo que los gastos de agua y el aporte de sedimentos que originalmente salían por la Boca de Teacapán se redujo drásticamente [1].

La construcción de estructuras rígidas (espigones de roca, el malecón) en el estero con el fin de mitigar la erosión no ha funcionado, debido a que en ninguno de los casos se realizaron estudios previos y por lo tanto las obras estuvieron mal planeadas, como resultado de la revisión de la hidrodinámica en el Estero de Teacapán se obtuvieron velocidades de las corrientes de alrededor de 0.70 m/s y la marea al ingresar al estero se sufren una gran disipación, por lo para el diseño de estructuras en el interior se debe basar más en las corrientes que en el oleaje producto de mareas.

Los espigones en vez de cumplir con sus funciones de retención de sedimentos han acelerado aún más los procesos erosivos. La función principal del malecón es proteger al poblado del oleaje, sin embargo se observa que el oleaje producto de mareas vivas supera la cota (altura) de éste, el agua al rebasarlo provoca la inminente inundación del malecón llegando a afectar al poblado de Teacapán.

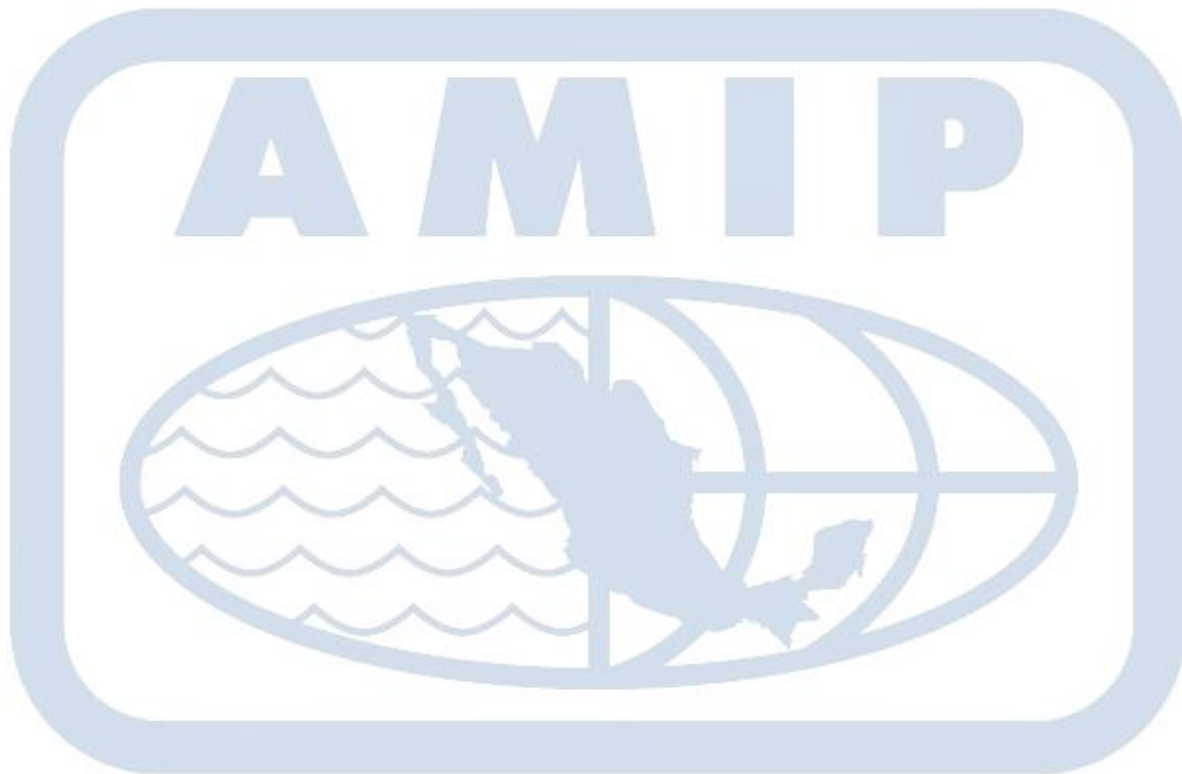
El éxito de una medida de actuación que solucione los problemas erosivos y de inundación en el Estero de Teacapán, dependerá de conocer las características hidro-morfodinámicas del estero y esto se logrará con la serie de estudios previos como el estudio oceanográfico, un estudio hidrológico y la caracterización de los sedimentos, solo así será posible proponer una solución satisfactoria.

Las medidas de actuación para dar solución a los problemas de erosión e inundación, se deben proponer como estructuras de Ingeniería blanda, incluyendo regeneración de playa, forestación de manglares, trasplante de arrecifes de coral, plantación de *Spartina alterniflora*; y/o medidas combinadas, tales como regeneración de la playa más arrecifes artificiales, y así sucesivamente. La ingeniería blanda y/o las estructuras combinadas son cada vez más populares, especialmente la regeneración de la playa y la restauración ecológica, que será la medida dominante en el futuro [3].

## REFERENCIAS



1. OCHOA, C.F., *ESTUDIO INTEGRAL SOBRE LA EROSIÓN DEL CANAL DE CUAUTLA PARA EL DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE SOLUCIÓN*. 2014, UNAM: MÉXICO, D.F. p. 163.
2. Medina, R., et al., *Variabilidad de los perfiles de playa: forma y distribución granulométrica*. Ingeniería del agua, 1995. 2(1).
3. Luo, S., et al., *Adaptive measures adopted for risk reduction of coastal erosion in the People's Republic of China*. Ocean Coast. Manag., 2015: p. 103, 134-145.



FUNDADA EN 1966

ASOCIACIÓN MEXICANA DE INFRAESTRUCTURA  
PORTUARIA, MARÍTIMA Y COSTERA, A.C.