

El evento erosivo de la playa de Mismaloya, Jalisco, México

Erosion event at Mismaloya Beach, Jalisco, Mexico

Luis Antonio Cupul-Magaña^{1*}
Amilcar Levi Cupul-Magaña²
Francisco Javier Núñez-Cornú²
Eduardo Gil-Silva³

¹ Facultad de Ciencias Marinas

³ Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, 22800, Baja California, México
* E-mail: lcupul@uabc.mx

² Centro Universitario de la Costa
Universidad de Guadalajara
Av. Universidad de Guadalajara 203
Delegación Ixtapa 48280
Puerto Vallarta, Jalisco, México

Recibido en agosto de 2003; aceptado en marzo de 2004

Resumen

Se realizó un estudio para determinar las causas que originaron la repentina desaparición de la playa de Mismaloya, Jalisco (México), ocurrida la madrugada del 8 de septiembre de 2001, la cual dejó como evidencia un escarpe de aproximadamente 2 m de alto, así como restaurantes y palapas inundadas por el océano. Este evento sucedió en pocas horas. Se hicieron perfiles batimétricos y de playa para conocer la morfología y la evolución de la zona costera, se obtuvo la batimetría y los volúmenes de sedimento erosionado y se hace un análisis de las pendientes del perfil costero, de las características físicas de los sedimentos y de la hidrodinámica de la zona, llegando a la conclusión de que el evento fue ocasionado por un deslizamiento de los sedimentos, los cuales yacían sobre pendientes muy abruptas del perfil costero (hasta 18°) a consecuencia del peso y de las propiedades tixotrópicas del sedimento.

Palabras clave: playas, erosión, Mismaloya, deslizamientos.

Abstract

A study was carried out to determine the causes of the sudden disappearance of Mismaloya Beach, Jalisco (Mexico), in the early hours of 8 September 2001. This event occurred in a few hours, leaving behind a 2-m-high beach scarp as well as restaurants and *palapas* flooded by the ocean. Bathymetric and beach profiles were done to know the morphology and evolution of the coastal zone, and the bathymetry and eroded sediment volumes were obtained. Analyses were made of the coastal profile slopes, the physical characteristics of the sediments and the zone hydrodynamics. The event was caused by a slump of the sediments that lay over very steep slopes of the coastal profile (up to 18°), as a consequence of the weight and tixotropic properties of the sediments.

Key words: beaches, erosion, Mismaloya, landslides.

Introducción

La madrugada del 8 de septiembre de 2001 se registró un extraño evento en la playa de Mismaloya, en la costa sur de la Bahía de Banderas, Jalisco (México). Según la versión de algunos testigos, se escuchó un fuerte ruido y un repentino avance del nivel del mar sobre la playa, ocasionando inundaciones en

Introduction

In the early hours of 8 September 2001, a strange event occurred at Mismaloya Beach, on the southern coast of Banderas Bay, Jalisco (Mexico). Witnesses reported a loud noise and a sudden rise in sea level, which caused flooding of the beachfront *palapas*, restaurants and hotel. By dawn the

las palapas, restaurantes y un hotel que se encontraban construidos en las proximidades de la playa. Al amanecer, la playa había desaparecido casi en su totalidad, originando un escarpe vertical a lo largo de los casi 200 m de playa y la zona costera se encontraba completamente inundada, con escombros y cimientos de construcciones descubiertos por la erosión. Dicho escarpe llega a tener hasta aproximadamente 2 m de alto y un ángulo de 90° en la zona central de la playa, dejando al descubierto la tubería del drenaje del hotel “La Jolla de Mismaloya”, y ocasionando el derrumbe de palapas que se asentaban sobre la playa (figs. 1, 2, 3).

La mayoría de los problemas de erosión de las costas está asociada a un déficit en el aporte de sedimentos, así como con oleaje de tormenta, los cuales suelen ser estacionales o bien pueden deberse a eventos extremos tales como huracanes. Una gran cantidad de autores han reportado eventos erosivos importantes debido a estos fenómenos (Warnke *et al.*, 1966; Davis y Fox, 1972; Komar, 1978; González-Calvillo y Cupul-Magaña, 1986; Murray *et al.*, 1993; Grymes y Stone, 1995; Stone *et al.*, 1995, entre otros). El tiempo en que se erosiona una playa debido a estos eventos puede ser de días a semanas, dependiendo de las características e intensidad de los mismos. En casos de eventos catastróficos como un sismo, éste podría provocar un movimiento de bloques que pudiera ocasionar un fallamiento y, en consecuencia, el hundimiento de la playa o bien la generación de un micro tsunami que afectará la costa provocando su inundación.

Otra de las causas más comunes de la erosión de la línea de costa es la construcción de estructuras costeras como espigones y rompeolas, los cuales actúan como trampas de sedimento provocando por una parte la depositación corriente arriba de la estructura y erosión corriente abajo de ésta. Algunos casos de éstos han sido reportado por Simpson y Cox (1993), Marcomini y López (1993), Komar (1998, 2000), Wiegel (2002a, b), y Borelli y Wells (2002).

La Playa de Mismaloya es una playa de bolsillo de aproximadamente 200 m de longitud, encerrada entre dos puntas rocosas, que es alimentada por el aporte estacional de sedimentos del Río Mismaloya. En ella se encuentra un desarrollo hotelero denominado La Jolla de Mismaloya, formado por dos torres de ocho pisos que abarcan dos tercera partes de la totalidad de la playa. La sección sur de la playa se encuentra ocupada por restaurantes tipo palapa. Estas secciones están separadas por la desembocadura del Río Mismaloya, con un ancho aproximado de 20 m e intensidad de flujo variable de



Figura 1. Vista panorámica de la playa original de Mismaloya.
Figure 1. Scenic view of the original beach at Mismaloya.

beach had almost completely disappeared, leaving a vertical scarp along nearly 200 m of beachline and a flooded coastal zone, with rubble and foundations uncovered by erosion. The scarp was 2 m high and had an angle of 90° in the central part of the beach. The drainage pipes of La Jolla de Mismaloya Hotel lay exposed, and the beach *palapas* had been demolished (figs. 1, 2, 3).

Most coastal erosion problems are associated with a sedimentary deficit, as well as with storm waves, which tend to be seasonal or produced by extreme events like hurricanes. Many authors have reported important erosive events due to these phenomena (Warnke *et al.*, 1966; Davis and Fox, 1972; Komar, 1978; González-Calvillo and Cupul-Magaña, 1986; Murray *et al.*, 1993; Grymes and Stone, 1995; Stone *et al.*, 1995, among others). Beach erosion can occur within a time frame of days to weeks, depending on the characteristics and intensity of the event. The occurrence of a catastrophic event such as an earthquake could lead to the movement of blocks, causing possible faulting and subsidence of the beach, or to the generation of a micro-tsunami that will attack and flood the coast.

Another of the most common causes of coastline erosion is the construction of structures such as breakwaters and piers, which act as sediment traps, on the one hand causing coastal accretion on the updrift side of the structure and erosion in the downdrift direction. Examples of this have been reported by Simpson and Cox (1993), Marcomini and López (1993), Komar (1998, 2000), Wiegel (2002a, b), and Borelli and Wells (2002).

Mismaloya Beach is an approximately 200-m-long pocket beach, enclosed between two headlands and nourished by the seasonal input of sediments from Mismaloya River. The upscale resort known as La Jolla de Mismaloya is located here, consisting of two eight-floor towers that occupy two-thirds of



Figura 2. Vista panorámica de la playa mostrando el escarpe originado después del evento.
Figure 2. Scenic view of Mismaloya Beach showing the scarp produced by the event.



Figura 3. Fotografía donde se observa la erosión y el escarpe de la playa después del evento erosivo.
Figure 3. Photograph showing the erosion and beach scarp after the event.

acuerdo con la estación de lluvias, las cuales predominan durante el verano.

Hasta la madrugada del 8 de septiembre de 2001, originalmente la playa tenía un ancho total de 60 m en su parte más amplia. Al amanecer de ese día, su amplitud se redujo en más de un 80% debido al evento mencionado, que en el caso de playa de Mismaloya fue repentino. En el presente trabajo se hace un análisis del origen del evento catastrófico tratando de establecer las causas de la rápida erosión y modificación de la playa de Mismaloya.

Materiales y métodos

El área de estudio se conoce como Boca Mismaloya, se localiza a 20°32' latitud Norte y 105°15' longitud Oeste a 11.5 km al sur de Puerto Vallarta, Jalisco, México. El Río Mismaloya forma un pequeño delta limitado por dos puntas rocosas, a las faldas de altos acantilados que, combinados con la selva, sirven de marco para el asentamiento del desarrollo hotelero de gran turismo "La Jolla de Mismaloya", clasificado dentro de los 10 mejores lugares de esparcimiento en México (fig. 4).

Con el objeto de conocer la morfología y evolución de la zona, se realizó una batimetría el 29 de septiembre de 2001. Se utilizó una ecosonda Bathy-500 obteniéndose seis perfiles batimétricos perpendiculares a la playa (fig. 5) y los datos fueron procesados con el programa Surfer 7.0.

Para monitorear la evolución de la playa se levantaron 10 perfiles de playa cada 20 m a lo largo de la costa, durante el 1, 2 y 4 de octubre, 9 de noviembre y 1 de diciembre de 2001, referidos al nivel medio de bajamar inferior. Para evaluar el volumen de material erosionado se calculó el área del perfil y se obtuvo el volumen total de acuerdo con Montes de Oca (1979): $V = (A1 + A2/2) d$, donde A es el área de cada sección y d es la distancia entre ellas (Montes de Oca, 1979).

the entire beach. *Palapa*-type restaurants are found in the southern part of the beach. The two sections are separated by the mouth of Mismaloya River, with an approximate width of 20 m and variable flow depending on the summer rainy season.

Prior to 8 September 2001, the beach was 60 m wide at the widest point, but by dawn of that day it had been reduced by 80% as a result of the sudden occurrence of the aforementioned event. In this study we determine the causes of this catastrophic event and of the rapid erosion and modification of Mismaloya Beach.

Materials and methods

The study area known as Boca Mismaloya (20°32' N, 105°15' W) is located 11.5 km to the south of Puerto Vallarta, Jalisco. Mismaloya River forms a small delta limited by two headlands, and steep slopes covered by lush vegetation surround La Jolla de Mismaloya Hotel, classified among the top ten resorts in Mexico (fig. 4).

To determine the morphology and evolution of the zone, bathymetry measurements were made on 29 September 2001 with a Bathy-500 echosounder. We obtained six bathymetric

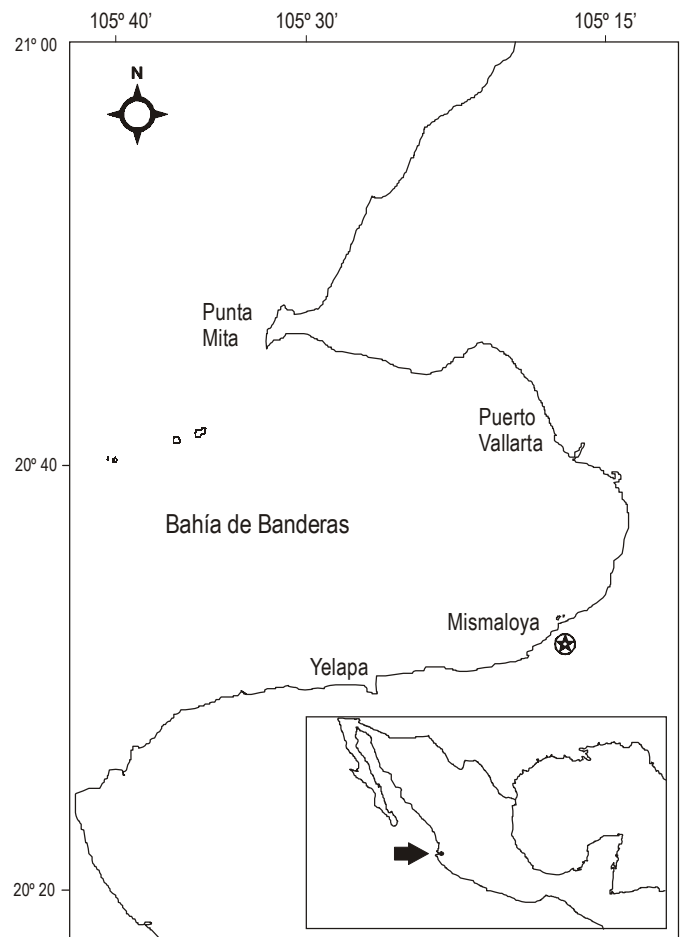


Figura 4. Localización del área de estudio.
Figure 4. Location of the study area.

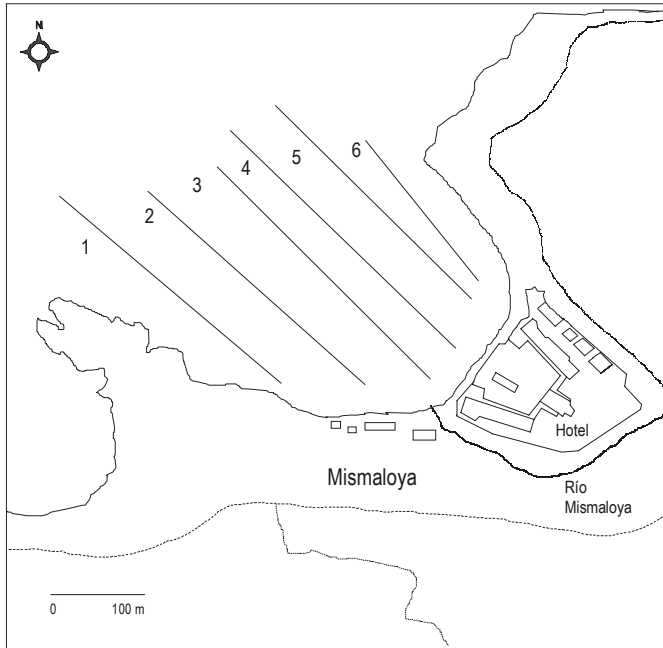


Figura 5. Localización de los transectos de los perfiles batimétricos de Mismaloya.

Figure 5. Location of the transects of the bathymetric profiles at Mismaloya.

Se realizó la medición y estimación de un perfil de playa original, medido a partir del límite de playa del hotel y la berma de erosión, estimando su máxima longitud mar adentro a partir de fotografías de la zona anteriores al evento erosivo. Este perfil se comparó con el perfil erosionado de la costa.

Por otra parte, considerando la posibilidad de que un sismo hubiera sido la causa activadora del evento, se investigó tal posibilidad utilizando los registros de la red sismográfica del Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara.

Resultados y discusión

Uno de los primeros aspectos investigados fue la ocurrencia de sismos que pudieran haber desestabilizado el depósito de playa. Sin embargo, no se encontró en los registros evidencia de la ocurrencia de movimientos que pudieran haber ocasionado algún efecto sobre la costa en el área de estudio.

Para conocer las características fisiográficas de la pequeña bahía, se realizó una batimetría, recorriendo secciones a lo largo y ancho del área (fig. 5) y obteniendo así los perfiles y contornos batimétricos referidos al nivel de bajamar medio inferior.

En los perfiles batimétricos se pueden observar variaciones de las pendientes a lo largo de la sección, iniciando con pendientes pronunciadas, con excepción del perfil batimétrico 1 (fig. 6), el cual presenta una pendiente menos abrupta a su inicio con un ángulo de aproximadamente 4°; sin embargo, después de los 30 m de profundidad la pendiente se incrementa

perfiles perpendicular to the coast (fig. 5) and the data were processed using Surfer 7.0.

To monitor the beach's evolution, ten beach profiles were measured every 20 m along the coast, relative to mean lower low water, on 1, 2 and 4 October, 9 November and 1 December, 2001. To determine the volume of eroded material, the profile area was calculated and the total volume was obtained according to Montes de Oca (1979): $V = (A1 + A2/2)d$, where A is the area of each section and d is the distance between them.

Based on photographs taken before the erosive event, we estimated the maximum length offshore of an original beach profile, measured from the limit of the hotel's beach and the berm profile. This profile was compared with the coast's erosion profile.

On the other hand, considering the possibility that an earthquake may have generated the event, we analyzed the seismographic network operated by the Centro Universitario de la Costa of the University of Guadalajara.

Results and discussion

One of the first aspects studied was the possible occurrence of an earthquake that may have destabilized the beach deposit;

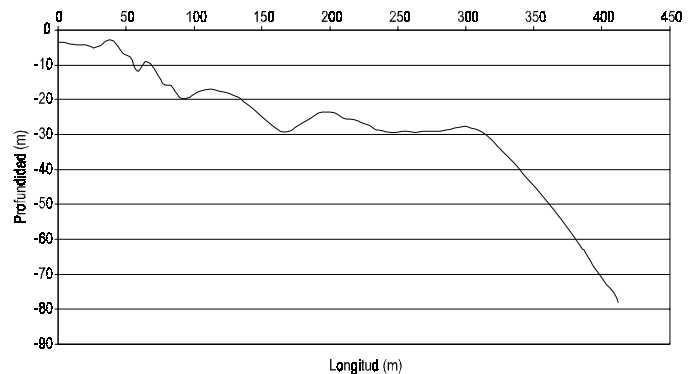


Figura 6. Perfil batimétrico 1 (29/09/01).

Figure 6. Bathymetric profile 1 (09/29/01).

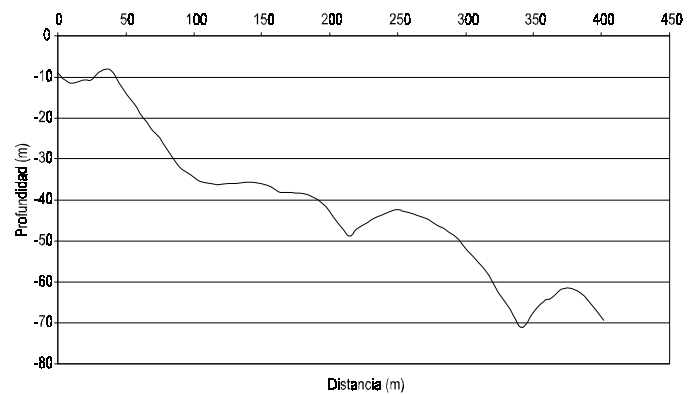


Figura 7. Perfil batimétrico 2 (29/09/01).

Figure 7. Bathymetric profile 2 (09/29/01).

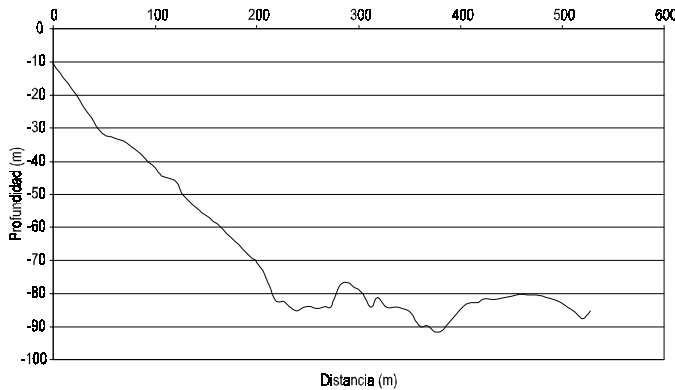


Figura 8. Perfil batimétrico 3 (29/09/01).
Figure 8. Bathymetric profile 3 (09/29/01).

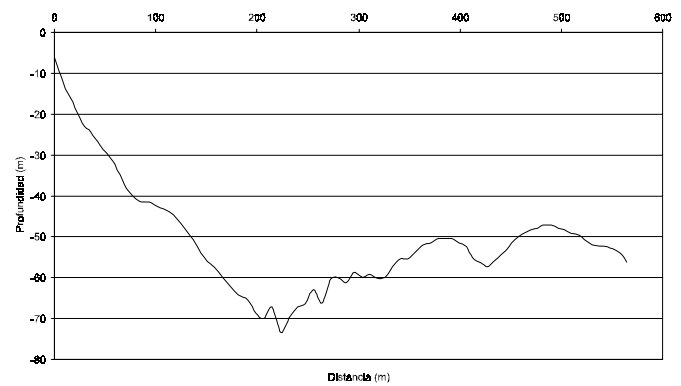


Figura 9. Perfil batimétrico 4 (29/09/01).
Figure 9. Bathymetric profile 4 (09/29/01).

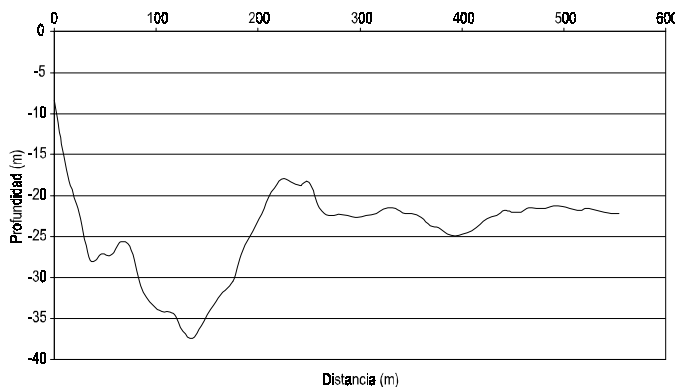


Figura 10. Perfil batimétrico 5 (29/09/01).
Figure 10. Bathymetric profile 5 (09/29/01).

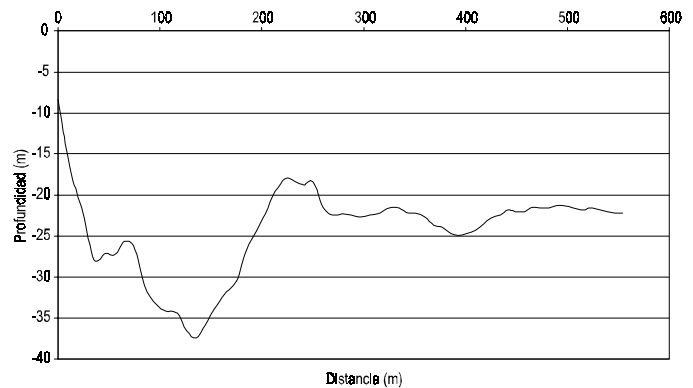


Figura 11. Perfil batimétrico 6 (29/09/01).
Figure 11. Bathymetric profile 6 (09/29/01).

rápido alcanzado un valor de 26° debido a que esta sección de la playa se encuentra muy cercana a la boca del Río Mismaloya, y es la zona donde se acumula la mayor cantidad de sedimentos aportados por el río.

Entre los perfiles batimétricos del 2 al 6 (figs. 7, 8, 9, 10, 11) se observa un comportamiento similar: pendientes pronunciadas al inicio de cada sección, con valores de 10° , 15° , 17° , 18° y 12° , los cuales aumentan conforme al número de perfil, disminuyendo en el perfil batimétrico 6 (fig. 11), a un lado de la punta rocosa.

En la figura 12 se muestra el mapa batimétrico obtenido, notándose la presencia de un cañón submarino cuya profundidad alcanza casi 100 m. La orientación del cañón es hacia el SE coincidiendo su eje central precisamente con el frente del Hotel La Jolla de Mismaloya, donde se observan las mayores pendientes y donde el evento erosivo fue mayor.

Durante los días siguientes al evento, la playa continuó su proceso erosivo, ya que como el sistema se encontraba desestabilizado con los cambios de pendiente del perfil de playa, la acción natural del oleaje y las corrientes tendían a estabilizar el

however, the records did not show evidence of any movements that could have affected the coast in the study area.

To determine the physiographic characteristics of this small bay, bathymetry surveys were made the length and width of the area (fig. 5), thus obtaining the bathymetric profiles and contours, referred to mean lower low water.

The bathymetric profiles show variations in slopes along the section, beginning with steep slopes, except for bathymetric profile 1 (fig. 6), which presents a less abrupt slope at the beginning, with an angle of approximately 4° ; however, after 30 m depth, the slope rapidly increases to 26° because this section of the beach is very close to the river mouth, where most of the sediment carried by the river accumulates.

Bathymetric profiles 2 to 6 (figs. 7, 8, 9, 10, 11) present a similar behaviour, with steep slopes at the beginning of each section of 10° , 15° , 17° , 18° and 12° , respectively. Note that the slope values increase with the profile number and decrease in profile 6 (fig. 11), next to the headland.

The bathymetric map obtained is presented in figure 12 and shows a 100-m-deep submarine canyon, oriented SE. Its

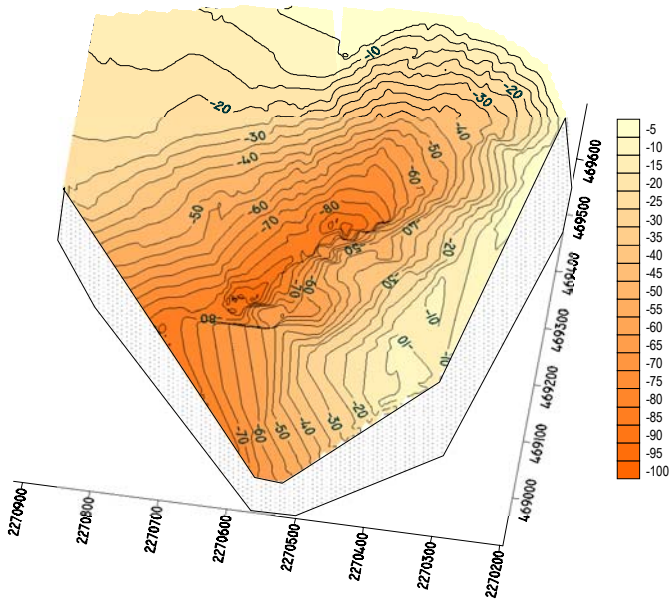


Figura 12. Mapa batimétrico de Mismaloya.
Figure 12. Bathymetric map of Mismaloya

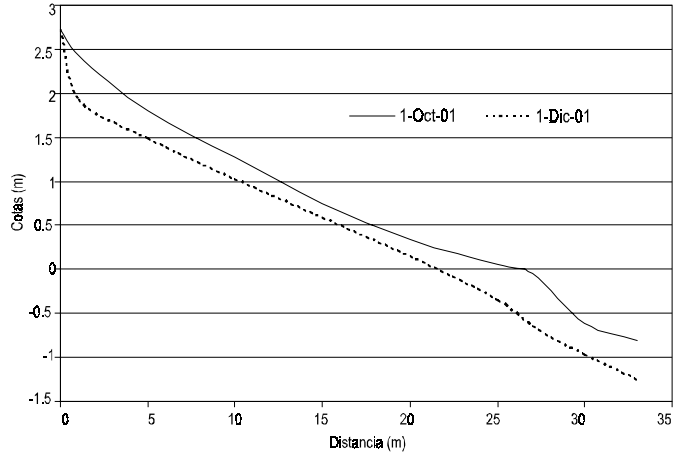


Figura 13. Perfil de playa 1.
Figure 13. Beach profile 1.

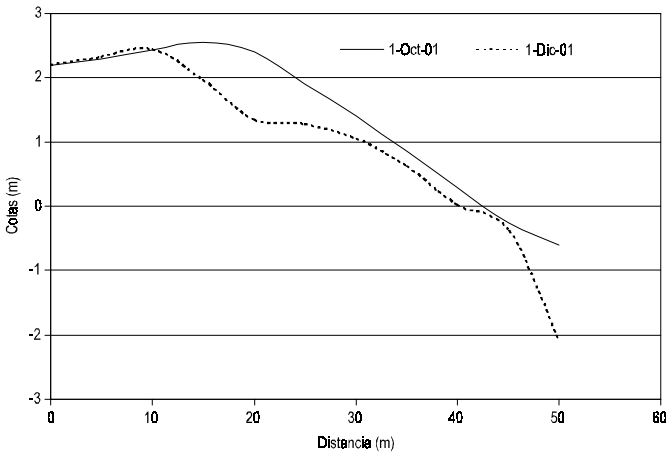


Figura 14. Perfil de playa 3.
Figure 14. Beach profile 3.

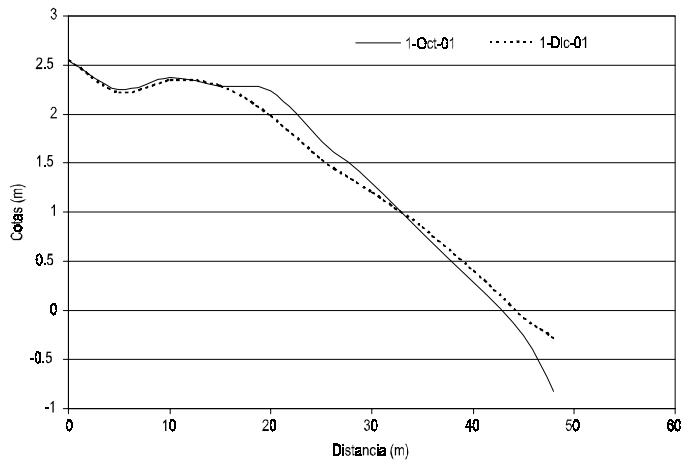


Figura 15. Perfil de playa 4.
Figure 15. Beach profile 4.

nuevo perfil de playa. En algunas inmersiones realizadas por medio de buceo autónomo se pudieron observar las pendientes pronunciadas del perfil costero y el movimiento de arena pendiente abajo. Este comportamiento persistió durante varios días; sin embargo, el 27 de septiembre se manifestó un nuevo evento que afectó la playa, pero en entonces fue la marejada ocasionada por el huracán Juliette, la cual persistió hasta el 29 de septiembre ocasionando un proceso erosivo más intenso.

Las medidas de los perfiles de playa describen un patrón de erosión similar en todos ellos, por lo que sus datos del 1 de octubre y 1 de diciembre de 2001 (figs. 13, 14, 15, 16, 17) se graficaron, con excepción de los del perfil 6 (fig. 16) en el que se lleva a cabo depositación de sedimentos debido a su

central axis is precisely in front of La Jolla de Mismaloya Hotel, where the slopes are steepest and erosion is greatest.

Erosion of the beach continued in the days following the event. As the system had been destabilized by the changes in slope of the beach profile, the natural action of the waves and currents would tend to stabilize the new profile. During some scuba dives it was possible to observe the steep slopes of the coastal profile and the down-slope movement of sand. This behaviour continued for several days until 27 September, when the swell produced as a result of Hurricane Juliette, which continued until 29 September, intensified the erosive process.

All the measurements of the beach profiles describe an erosion pattern; hence, their data from 1 October and 1 December 2001 were plotted (figs. 13, 14, 15, 16, 17), except those of profile 6 (fig. 16), because it is located next to the river mouth and downstream from the coastal current, and is the first

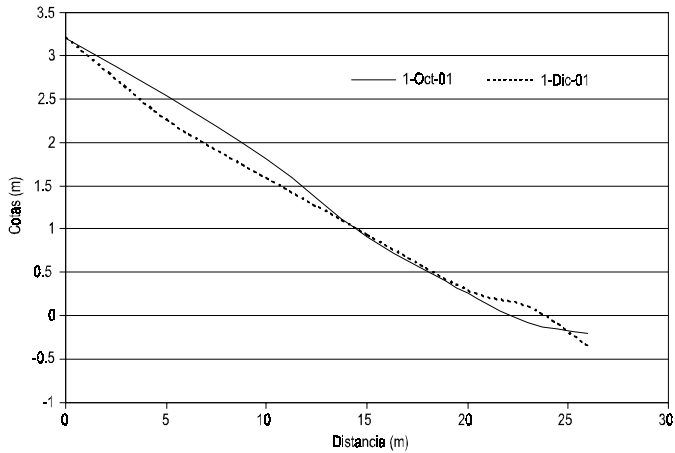


Figura 16. Perfil de playa 6.
Figure 16. Beach profile 6.

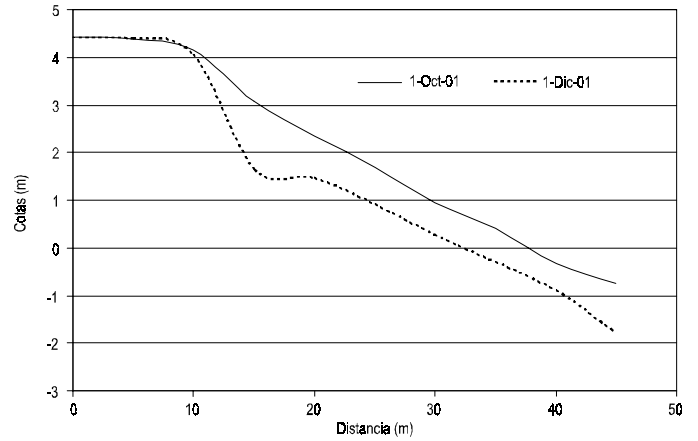


Figura 17. Perfil de playa 9.
Figure 17. Beach profile 9.

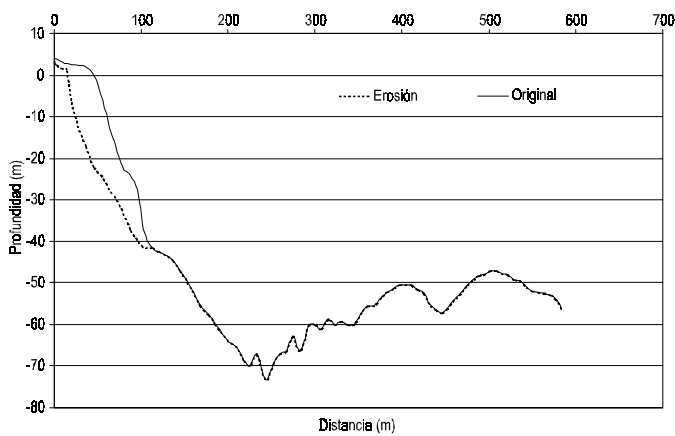


Figura 18. Comparación del perfil costero antes y después de la erosión de la playa, incluyendo el deslizamiento y la erosión por el oleaje de tormenta.
Figure 18. Comparison of the coastal profile before and after the erosion of the beach, including the slump and erosion due to storm waves.

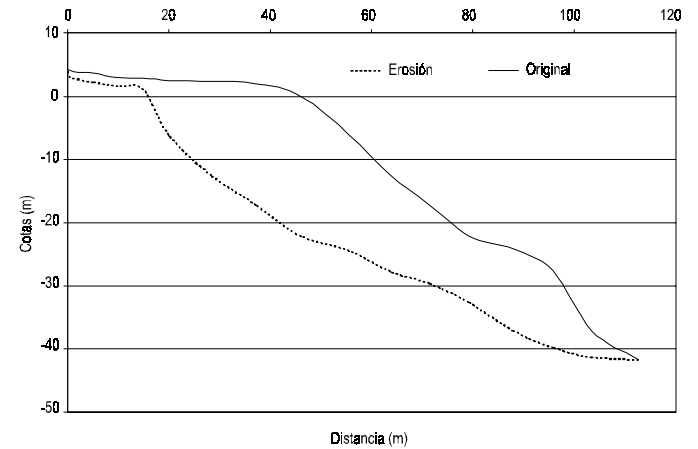


Figura 19. Sección detallada del perfil costero, mostrando el área de la playa erosionada, incluyendo el deslizamiento y la erosión por oleaje de tormenta.

Figure 19. Detailed section of the coastal profile, showing the eroded area of the beach, including the slump and erosion due to storm waves.

ubicación a un costado de la desembocadura del río y corriente abajo de la corriente litoral, siendo la primera sección que recibe el poco material sedimentario aportado por el río. Es posible observar la poca longitud de los perfiles de playa, contando el más largo con sólo 50 m de longitud (fig. 14). Esto se debe a que al final de cada perfil la pendiente cae abruptamente a más de 10 m en vertical. Obsérvese la figura 18 donde se compara el perfil batimétrico original y el perfil erosionado después del evento.

En general, en los perfiles de playa se observa que el proceso erosivo debido al oleaje y las corrientes continúa, y éste sólo se estabilizará cuando el perfil de playa alcance las nuevas condiciones de equilibrio.

section to receive the little sedimentary material transported by the river. The short length of the beach profiles is notable, the longest being 50 m (fig. 14). This is because at the end of each profile the slope presents an abrupt vertical drop of more than 10 m. In figure 18 a comparison is made of the original bathymetric profile and the profile obtained after the erosive event.

In general, the beach profiles show that the erosive process due to waves and currents continues. This will only stabilize once the beach profile attains new equilibrium conditions.

Figure 19 shows the most-detailed section of the beach and bathymetric profile before and after the erosive event, taking

La figura 19 muestra la sección más detallada del perfil de playa y batimétrico, antes y después del evento erosivo, tomando como base el perfil batimétrico 4 (fig. 9) a una profundidad de cambio de pendiente de 41 m. Con base en este esquema se realizó un cálculo aproximado del volumen de material sedimentario erosionado durante el primer evento erosivo e integrándolo a toda la playa de Mismaloya, dando como resultado un total de 310, 332 m³.

La erosión subsiguiente debida al oleaje y a las corrientes litorales durante el periodo monitoreado se estima en 1740 m³ de sedimento.

Haciendo un análisis de las condiciones de la dinámica sedimentaria de la playa de Mismaloya, tenemos que ésta está gobernada por el aporte de sedimentos del Río Mismaloya, los cuales son distribuidos a lo largo de y perpendicularmente a la playa por el oleaje y el sistema de corrientes, confinando la playa entre dos puntas rocosas que actúan como trampas de sedimento y dando lugar a la playa de bolsillo de Mismaloya. Esta acumulación de material sedimentario posee una clasificación muy pobre, ya que están presentes tamaños de grano desde arenas muy gruesas hasta material arcilloso, y los granos no están redondeados, evidenciando la cercanía de su fuente de aporte debido al poco "retrabajamiento" de los granos. Debido a esto y a la baja energía del oleaje, los sedimentos están sujetos a poco transporte y desgaste; también presentan características tixotrópicas debido a su amplia distribución de tamaños de grano y al contenido de materia orgánica, lo que podría dar lugar a su licuefacción.

El río, de manera continua o estacionalmente, aportará cantidades de sedimento que se acumularán en la playa y, una vez que se alcance el perfil de equilibrio, el material excedente seguirá siendo transportado a lo largo de la costa. Como hemos mencionado, la playa de Mismaloya es una playa de bolsillo entre dos puntas rocosas que retienen el material atrapado entre ellas, por lo que gran parte del material se quedará en la playa acumulándose sobre las pronunciadas pendientes del cañón submarino hasta llegar el momento en que el ángulo de la pendiente sea mayor que el ángulo crítico de reposo del depósito, volviéndose inestable y colapsándose hasta alcanzar su pendiente de equilibrio. El peso de los sedimentos y sus propiedades tixotrópicas, la baja compactación que presentan y las pendientes pronunciadas de la costa, dieron como resultado eventos de deslizamientos del depósito de arena, provocando la pérdida de la playa en dirección perpendicular a la costa. Debido a las grandes profundidades muy cercanas a la línea de costa, y al poco oleaje que predomina en la zona, el material no puede ser restituido hacia la playa por los procesos costeros, perdiéndose definitivamente y ocasionando una erosión eventual de la playa hasta que el río aporte nuevo material para su formación.

Al parecer este tipo de fenómeno ya había ocurrido en la zona alrededor de 30 años antes, según la versión de antiguos colonos de Mismaloya. La diferencia estriba en que hace 30 años no existía el desarrollo turístico del Hotel La Jolla de Mismaloya, de tal manera que la naturaleza podía reestablecer

bathymetric profile 4 as basis (fig. 9), with a change in slope at a depth of 41 m. Based on this, an approximate calculation was made of the volume of sedimentary material eroded during the first erosive event and integrated to the whole beach, giving a result of 310, 332 m³.

The subsequent erosion due to waves and coastal currents was estimated to be 1740 m³ of sediment.

An analysis of the conditions of the sedimentary dynamics of Mismaloya Beach shows that it is governed by the input of sediments from Mismaloya River, which are distributed along and perpendicular to the beach by the waves and current system. Since the material is confined between two headlands that act as sediment traps, a pocket beach is formed. This accumulated sedimentary material has a very poor classification, with grain sizes ranging from very coarse sands to clayey material and non-rounded particles. The scant reworking of the grains indicates that the source is nearby. Due to this and the low wave energy, the sediments are subject to little transport and erosion. They also present tixotropic properties because of their many grain sizes and organic matter content, which could produce their liquefaction.

The river will continue to carry sediments that will accumulate on the beach, and once the equilibrium profile has been attained, the excess material will be transported along the coast. As already mentioned, Mismaloya Beach is a pocket beach located between two headlands that keep the material trapped between them; therefore, most of the material will stay on the beach and collect over the steep slopes of the submarine canyon, until the moment when the angle of the slope is greater than the critical angle of repose of the deposit, becoming unstable and collapsing until the equilibrium slope is reached. The weight of the sediments and their tixotropic properties, their low compactness and the steep coastal slopes produced slumping of the sand deposit, with the consequent loss of beach perpendicular to the coast. Due to the significant depths very close to the coastline and the low wave action in the zone, the material cannot be restored to the beach by coastal processes and is lost, causing eventual erosion of the beach until the river contributes new material for its formation.

According to previous Mismaloya occupants, this type of phenomenon had already occurred in the area some 30 years before; however, the hotel complex did not exist 30 years ago, and nature was able to restore order and reclaim the sand deposited in the Mismaloya River delta. This time, the stabilization process could take much longer and the hotel's structure could be severely damaged, since it was built on the beach that formed part of the natural river delta, preventing the input of sediments necessary to stabilize the profile. To date, the beach and hotel continue to present serious erosion problems.

In conclusion, the erosive event at Mismaloya Beach was caused by a slump of the beach material due to the weight of the deposit that lay over steep slopes between 10° and 18°. This event was intensified by the storm waves produced by Hurricane Juliette. It is difficult to predict when the beach will stabilize.

el equilibrio perdido, reclamando la arena depositada tierra arriba en el delta de Río Mismaloya. Sin embargo, en esta ocasión el proceso de estabilización podría durar mucho más tiempo y causar graves daños a la estructura del hotel, ya que éste se construyó sobre la playa que formaba parte del delta natural del río mismo, evitando de esta manera el aporte de sedimentos necesarios para estabilizar el perfil. Actualmente la playa y el hotel siguen presentando graves problemas de erosión.

En conclusión, el evento erosivo de la playa de Mismaloya fue originado por un deslizamiento del material de la playa debido al peso del depósito que yacía sobre pendientes pronunciadas entre 10° y 18°, evento que se magnificó por el oleaje de tormenta del huracán Juliette. Es difícil predecir cuando alcanzará la playa su estabilidad.

Los deslizamientos son eventos comunes en tierra firme, definidos como movimientos rápidos de masas de tierra que se deslizan sobre pendientes, y han sido clasificados de diferentes formas (Sharpe, 1938; Ward, 1945; Varnes, 1958; Hutchinson, 1968, en Ritter, 1986). Sin embargo, en lo que respecta a las playas, en la literatura consultada no se encontró cita alguna respecto a eventos como el ocurrido en la playa de Mismaloya. La importancia de entender este tipo de fenómenos en las costas radica en poder prevenir eventos como éste. Afortunadamente el fenómeno ocurrió en la madrugada, cuando la playa estaba desierta pero, ¿Cuáles hubieran sido las consecuencias si el fenómeno hubiese ocurrido a mediodía con una playa repleta de bañistas y turistas?

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en conjunto entre la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California y el Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara. Los autores agradecen el apoyo de Protección Civil Jalisco, de su Base Regional Puerto Vallarta, y al H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta.

Referencias

- Borelli, M. and Wells, J.T. (2002). Sediment bypassing, spit progradation and the cape lookout jetty. *Shore & Beach*, 70(3): 15–19.
- Davis, Jr. R.A. and Fox, T.W. (1972). Coastal processes and nearshore sand bars. *J. Sediment. Petrol.*, 42(2): 401–412.
- González-Calvillo, A. y Cupul-Magaña, L.A. (1986). Causas de erosión en Playas de Tijuana durante el periodo de 1975–1985. *Cienc. Mar.*, 12(3): 82–94.
- Grymes, J.M. and Stone, G.W. (1995). A review of key meteorological and hydrological aspects of Hurricane Andrews. *J. Coast. Res.*, SI(21): 6–23.
- Landslides are common events on firm ground, defined as rapid downslope movements of land masses, and have received different classifications (Sharpe, 1938; Ward, 1945; Varnes, 1958; Hutchinson, 1968, in Ritter, 1986). However, in relation to beaches, in the literature consulted we found no reference to events like that of Mismaloya Beach. It is important to understand this type of coastal phenomena in order to prevent their occurrence. Fortunately, this event occurred at dawn, when the beach was empty, but what would have happened if it would have occurred at noon when the beach is full of people?

Acknowledgements

This study was conducted jointly by the universities of Baja California and Guadalajara. The authors acknowledge the support received from Jalisco's civil protection unit at Puerto Vallarta and the Puerto Vallarta City Council.

English translation by Christine Harris.

- Komar, P.D. (1978). Wave conditions on the Oregon coast during the winter of 1977–78 and the resulting erosion of Nestuca Spit. *Shore and Beach*, 46(10): 3–8.
- Komar, P.D. (1998). *Beach Processes and Sedimentation*. Second edition. Prentice-Hall Inc. New Jersey, 544 p.
- Komar, P.D. (2000). Coastal erosion-underlying factors and human impacts. *Shore & Beach*, 68(1): 3–16.
- Marcomini, S and López R.A. (1993). Coastal protection effects at Buenos Aires, Argentina. In: O. Magoon, W.S. Wilson, H. Converse and L.T. Tobin (eds.), *Coastal Zone '93*, pp. 2724–2738.
- Montes de Oca, M. (1979). *Topografía*. 4a ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A., México.
- Murray, S.P., Walker, N.D. and Adams, C.E. (1993.) Impacts of winter storms on sediment transport within the Terrebonne Bay marsh complex. In: S. Laska and A. Puffer (eds.), *Coastlines of the Gulf of Mexico*, pp. 56–70.
- Ritter, D.F. (1986). *Process Geomorphology*. 2nd ed. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, 577 pp.
- Simpson, D.P. and Cox, C.C. (1993). Incremental influence of shore structures determined using a shoreline change model. In: S.A. Hughes and O.T. Magoon (eds.), *Coastal Engineering Considerations in Coastal Zone Management*, pp.16–26.
- Stone, G.W., Xu, J.P. and Zhang, X. (1995). Estimation of the wave field during Hurricane Andrew and morphological change along Louisiana coast. *J. Coast. Res.*, SI(21): 234–253.
- Warnke, V., Goldsmith, V., Grose and Holt, J.J. (1966). Drastic beach changes in a low-energy environment caused by Hurricane Betsy. *J. Geophys. Res.*, 71(6): 2013–2016.
- Wiegel, R.L. (2002a). Seawalls, seacliffs, beachrock: What beach effects? Part 1. *Shore & Beach*, 70(1): 17–25.
- Wiegel, R.L. (2002b). Seawalls, seacliffs, beachrock: What beach effects? Part 2. *Shore & Beach*, 70(2): 13–22.