

**VULNERABILIDAD AL INCREMENTO DEL NIVEL DEL
MAR PÉRDIDA DE TIERRA EN EL ÁREA CABO CODERA-
LAGUNA DE TACARIGUA,
ESTADO MIRANDA, VENEZUELA ***

Increased Vulnerability of Sea Level: Loss of Land in the area of Codera
Cape-Tacarigua Lagoon, Miranda State, Venezuela

María de Lourdes Olivo, Alberto Martín, Vidal Sáez-Sáez y Alejandra Soto Olivo

RESUMEN

Investigaciones recientes han demostrado que ciertas actividades productivas del ser humano, están incidiendo en el aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, con una tendencia ascendente de la temperatura promedio superficial del aire desde finales del siglo XIX. El objetivo de este estudio es evaluar la vulnerabilidad socioambiental al incremento potencial del nivel del mar, enfatizando los impactos físicos, específicamente la pérdida de superficie terrestre que puede ocurrir en la zona comprendida desde cabo Codera hasta la laguna de Tacarigua, estado Miranda, mediante la aplicación de la *Metodología común: siete pasos para evaluar la vulnerabilidad* (IPCC, 1992). Se presentan los resultados obtenidos en el cuarto paso metodológico, referido a la “evaluación de los cambios físicos”. Se concluye que las posibles pérdidas por inundación (15,43 km²) serían más relevantes que las generadas por erosión (5 km²), adicionalmente se estimó una regresión de la línea de costa de aproximadamente 23 ± 5,44 m en 100 años. Los efectos del ascenso del nivel del mar son un acelerador

* Recibido: 18-05-2010.

Aceptado: 27-02-2011.

de la problemática ambiental que existe en el área de estudio, se recomienda implantar un manejo integrado de costas para lograr su desarrollo sostenible.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, nivel del mar, erosión, inundación, vulnerabilidad.

ABSTRACT

Recent research has shown that certain productive activities are affecting the rise of the concentrations of greenhouse gases in the atmosphere, with an upward trend in average surface air temperature since the late nineteenth century. The aim of this study is to assess the potential socio-environmental vulnerability to increased sea level, emphasizing the physical, specifically the loss of land surface that can occur in the area from out to the Codera Cape-Tacarigua Lagoon, Miranda state, by implementation of the Common Methodology: Seven steps to assess the vulnerability (IPCC, 1992). We present the results obtained in the fourth step methodology, based on the “assessment of the physical changes.” We conclude that flood losses (15.43 km²) would be more relevant than those generated by erosion (5 km²), in addition, the estimated regression shoreline of approximately 23 ± 5.44 m in 100 years. The effects of sea level rise is an accelerator of environmental problems that exist in the study area, it is recommended to implement an integrated coastal management to achieve sustainable development.

KEY WORDS: Climate change, sea level, land loss, erosion, flood vulnerability.

INTRODUCCIÓN

Cada vez hay más consenso científico sobre la tendencia ascendente de la temperatura promedio superficial del aire durante los últimos años, que ha aumentado aproximadamente 0,76 °C desde finales del siglo XIX; esto está relacionado con el aumento de las concentraciones de los denominados gases de efecto invernadero (GEI) por el uso indiscriminado de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y sus derivados (NOAA, 2008).

Los GEI están representados por el vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y ozono; los clorofluorocarbonos (CFC) y algunos

gases fotoquímicos, tales como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y otros compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (MARNR-MEM-UNEP-U.S Country Studies Program, 1996; Houghton *et al.*, 2001).

La aplicación de varios modelos climáticos ha proyectado el calentamiento a nivel mundial para fines de este siglo, un rango comprendido entre 1,0 a 6,4 °C (Magrin *et al.*, 2007), este cambio puede obedecer a varias hipótesis relacionadas con el aumento de la población, crecimiento económico, uso de la tierra, sector forestal, cambios tecnológicos, disponibilidad y demanda de energía más el uso de combustibles en el período 1990 a 2100. El Panel Intergubernamental de Cambios Climáticos (IPCC) (Alley *et al.*, 2007), ha propuesto los estimados de incremento del mar relacionados con el incremento de temperatura que se muestran en la cuadro 1.

Cuadro 1. Estimados de incremento de temperatura y del nivel del mar

Escenarios	Rango de cambio de temperatura (°C)	Aumento nivel del mar (m)
B1	1,1-2,9	0,18-0,38
AIT	1,4-3,8	0,20-0,45
B2	1,4-3,8	0,20-0,43
A1B	1,7-4,4	0,21-0,48
A2	2,0-5,4	0,23-0,51
A1F1	2,4-6,4	0,26-0,59

Fuente: Alley *et al.*, (2007)

Estos escenarios representan visiones distintas del futuro, así como la amplia variedad de cambios en las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero (GEI). Los dos escenarios extremos fluctúan entre un crecimiento rápido y continuo de las concentraciones atmosféricas de los GEI para finales del próximo siglo, hasta otra situación donde se estabilizan rápidamente.

El informe especial escenario de emisiones (IE-EE) consta de cuatro familias: **A1**, **A2**, **B1** y **B2** que exploran vías de desarrollo opcionales e

incorporan una serie de fuerzas motoras demográficas, económicas y tecnológicas, junto con las emisiones de GEI resultantes, que se describen a continuación (Nakicenovic *et al.*, 2000; Church *et al.*, 2001; Alley *et al.*, 2007):

Familia de líneas A1: Describen el mundo futuro con un desarrollo económico muy rápido, la población global presenta un máximo a mediados de siglo y luego declina, hay introducción rápida de nuevas y más eficientes tecnologías.

Los temas subyacentes relevantes son la convergencia entre regiones, construcción de capacidades e interacciones culturales y sociales crecientes, con una reducción substancial de las diferencias regionales en el ingreso per cápita. Esta familia del escenario A1 se convierte en tres grupos que describen direcciones opcionales del cambio tecnológico en el sistema de energía: fuentes fósiles intensivas (A1FI), fuentes de energía no-fósil (A1T), o un equilibrio de todas las fuentes (A1B) (equilibrado se define sin relación con una fuente de energía en particular).

Familia de líneas A2: El tema central es la independencia y preservación de las identidades locales con una población continuamente en aumento. El desarrollo económico es principalmente regional y orientado al componente económico per cápita y al cambio tecnológico más lento que otras líneas.

Familia de líneas B1: Presentan un mundo convergente con la misma población global, con un máximo a mediados de siglo que declina después, como en la línea A1, pero con el cambio rápido en las estructuras económicas hacia una economía de servicio y de información, con reducciones en la intensidad de uso de materiales y la introducción de las tecnologías eficientes y limpias. El énfasis está en soluciones globales a la sustentabilidad económica, social y ambiental, incluyendo mejoras en la equidad, pero sin iniciativas adicionales en el clima.

Familia de líneas B2: El panorama hace énfasis en soluciones locales a la sustentabilidad económica, social y ambiental. Es un mundo con un continuo aumento de la población global, a una tasa más baja que A2, con niveles intermedios del desarrollo económico, y cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas B1 y A1. Se orienta hacia la protección del ambiente y la equidad social, se centra en niveles locales y regionales.

De acuerdo con estos datos, es posible esperar un incremento del nivel del mar máximo en el escenario A1F1 (59 cm) para el año 2100, mientras que el ascenso menor se estima en 18 cm para el escenario B1. El primer caso, corresponderá a una situación en la que no se tomaron suficientes medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

De manera que la posibilidad de cambio climático global, como resultado de las emisiones de origen antropogénico de gases con efecto invernadero, se ha convertido en una preocupación real para los estudiosos del tema y la sociedad en general.

Entre los impactos que está provocando el incremento de la temperatura del aire se pueden mencionar: el retiro global de los glaciares de montaña, la reducción de la cubierta de nieve, la fusión más temprana del hielo de ríos y lagos en primavera, las modificaciones en los patrones hídricos, la disminución de la biodiversidad, la alteración de ecosistemas terrestres y acuáticos, la afectación a la salud y la tasa acelerada de aumento del nivel del mar detectada durante el siglo XX (PNUMA, 2004).

Es importante destacar, que los niveles del mar han oscilado marcadamente a lo largo de la historia de la Tierra, pero recientemente, su promedio global de aumento es más rápido que lo usual, entre 10 y 20 cm en 100 años, por lo que se considera que un factor antrópico está interviniendo (Glick, 2004). Numerosos científicos han planteado que gran parte de la elevación del mar detectada durante el siglo XX, puede estar relacionada con el aumento de la temperatura media del aire superficial global (Church *et al.*, 2001; Mitrovica *et al.*, 2001; Walsh *et al.*, 2004).

La tendencia generalizada es asumir que el aumento del nivel del mar dirige los cambios costeros y que sus impactos físicos se concentran en las pérdidas de tierra debidas a la erosión, caracterizada por la remoción física de sedimentos por acción del oleaje y las provocadas por la inundación, vista como la inmersión permanente de tierras bajas, como una simplificación de las metodologías usadas, pero reconociendo que es también una limitación de las mismas (Nicholls *et al.*, 1995; Diez, 2000; Barros, 2006).

Los estudios de vulnerabilidad, también consideran que el incremento del nivel del mar es el factor más resaltante de los cambios climáticos (Olivo *et al.*, 1996; Olivo *et al.*, 2001; Olivo *et al.*, 2010 a; Olivo *et al.*, 2010 b).

Entendiéndose la vulnerabilidad como la extensión en que los cambios climáticos pueden afectar un sistema, que depende no sólo de la sensibilidad del sistema, conceptualizado como el grado en que un sistema responderá a un cambio en las condiciones climáticas, sino también de la habilidad para adaptarse a una nueva situación.

Entre los impactos que se pueden generar por la elevación del nivel del mar se identifican la inundación y erosión de costas bajas, el incremento de la salinidad en acuíferos, la alteración de los patrones de deposición de sedimentos, la disminución de la transparencia del agua, la regresión de la línea de costa y una mayor penetración del oleaje, entre otros (Walsh *et al.*, 2004). Comúnmente, los impactos provocados por el incremento del nivel del mar, se evalúan a través de la vulnerabilidad a la inundación y erosión, con sus posibles consecuencias para el desarrollo de la actividad humana establecida en la zona costera afectada (Nicholls y Leatherman, 1995; Diez, 2000).

Es de destacar, que muchos de estos efectos actuarán de manera sinérgica con otros factores ambientales presentes ya en las zonas costeras, tal como los señalan Penchaszadeh *et al.*, (2000), Olivo *et al.*, (2004), y Ekercen (2007), Olivo *et al.*, (2010 a,b):

- Contaminación del agua por efluentes de aguas servidas domésticas, industriales y agrícolas
- Disposición y recolección inadecuada de desechos sólidos
- Urbanización sin control y en zonas sensibles ambientalmente
- Usos no apropiados del suelo
- Deforestación y remoción de vegetación
- Afectación a humedales
- Alteración de cuencas hidrográficas
- Modificación del patrón de drenaje y circulación de agua
- Construcción de obras de protección costera, entre otros

Recientemente el incremento del nivel del mar se está evidenciando en términos de pérdida de tierra a lo largo de las líneas costeras del mundo. Leatherman y Nicholls (1995) y Phillips y Williams (2007), acotan que más del 70% de las playas a nivel mundial están presentando problemas de erosión. Los investigadores Aubié y Tasted (2000) y, Rangel y Posada (2005)

apoyan esta aseveración, agregando que más de 20% de las costas del mundo son arenosas y por tal razón están potencialmente en riesgo, debido a los efectos del ascenso del nivel del mar.

El objetivo principal de la presente investigación, es la evaluación de la vulnerabilidad socioambiental al incremento potencial del nivel del mar, con énfasis en los impactos físicos, específicamente a la pérdida de tierra generada en el área comprendida desde Cabo Codera hasta el extremo más oriental de la laguna de Tacarigua en el estado Miranda.

METODOLOGÍA

Se aplicó la *Metodología común: siete pasos para evaluar la vulnerabilidad de áreas costeras* (IPCC, 1992), utilizada por Klein *et al.*, (2001) y McFadden *et al.*, (2007) y Olivo *et al.*, (2010 a y b). Las etapas metodológicas se desarrollan a través los siguientes pasos:

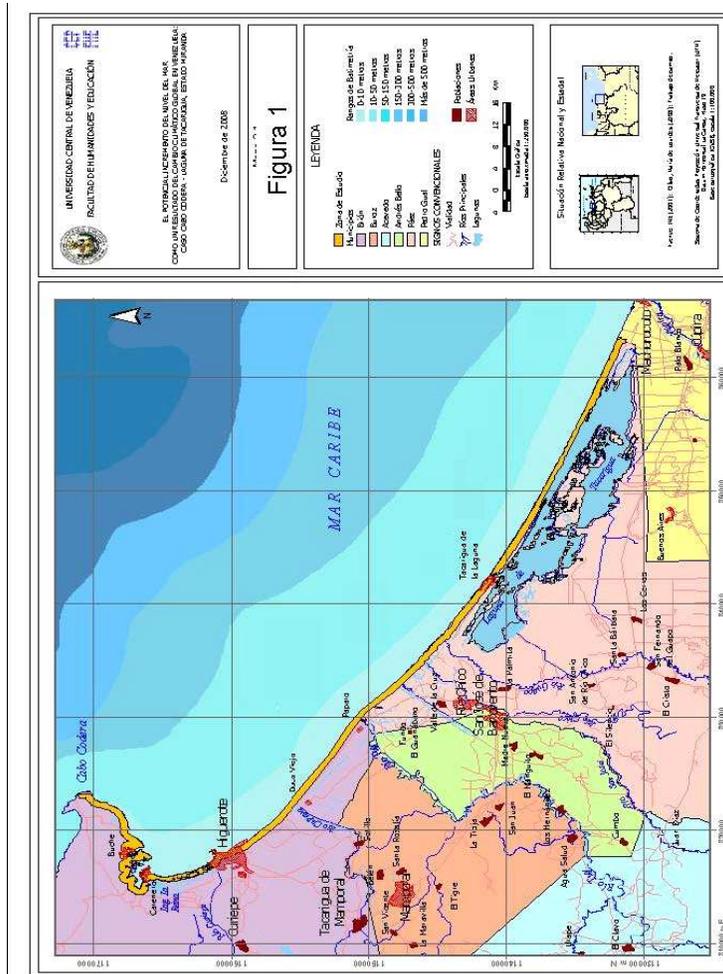
- Paso 1. Delimitación del área de estudio
- Paso 2. Características del sistema biológico, físico y socioeconómico
- Paso 3. Identificación de los factores de desarrollo
- **Paso 4. Evaluación de los cambios físicos**
- Paso 5. Formulación de estrategias de respuestas y evaluación de costos
- Paso 6. Evaluación de la vulnerabilidad
- Paso 7. Identificación de necesidades y acciones.

Esta metodología brinda un marco útil para países costeros, ya que permite evaluar la vulnerabilidad al incremento del nivel del mar y promueve el establecimiento de un enfoque sistemático para el manejo de las zonas costeras.

Se seleccionó como área a estudiar la comprendida entre cabo Codera y la laguna de Tacarigua, estado Miranda (figura 1), entre las coordenadas 820000 E y 1160000 N, la cual cubre una superficie de 37,9 km² con 78,50 km de costas sobre el mar Caribe.

La razón que motivó esta selección, fue la presencia de un humedal costero de gran importancia ecológica como lo es la laguna de Tacarigua, que posee gran diversidad biológica y está protegida por la figura administrativa de parque nacional (Gaceta Oficial de la República de

Venezuela, 1974). Se ha determinado que este ecosistema está sometido a una presión creciente de desarrollo turístico-recreacional en el área de amortiguación del Parque Nacional Laguna de Tacarigua (Olivo, 1992; Olivo *et al.*, 2010c), a pesar de coexistir con otra figura administrativa como es la zona de aprovechamiento agrícola en jurisdicción de los distritos Acevedo, Brión y Páez del estado Miranda (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1982).



En Olivo *et al.*, (2010a) y Olivo *et al.*, (2010b), se muestran los resultados obtenidos en las tres etapas metodológicas previas (Pasos 1, 2 y 3), y en este artículo se presentan los datos más resaltantes obtenidos durante el Paso 4, referido a la evaluación de los cambios físicos y específicamente a las pérdidas de tierra. A continuación se desarrolla la metodología aplicada en esta cuarta etapa, ya aplicada por Olivo *et al.*, (1996), Olivo *et al.*, (2001), y Olivo (1999, 2009) para diferentes situaciones.

Se realizó el análisis de la geomorfología costera, basado en la bibliografía existente, especialmente en COPLANARH (1970), Volonté y Arismendi (1995), Olivo (1999), y Olivo *et al.*, (2001), información aerofotográfica, de sensores remotos (Mr. SID, PSAD 56) y la obtenida durante los trabajos de campo.

Seguidamente, se determinó el principal mecanismo de pérdida de tierra que podría operar según las características geomorfológicas: erosión en playas arenosas y arrecifes suaves; inundación en tierras bajas, particularmente humedales, pantanos, salares, estuarios; y sin pérdida de tierras, en arrecifes y costas rocosas.

En campo se utilizó la “barra niveladora”, instrumento sencillo propuesto en la Universidad de las Islas Canarias, para tomar mediciones cada 500 metros con la finalidad de analizar los perfiles de playa en la zona de estudio (Martínez *et al.*, 1987; Olivo *et al.*, 1996; Olivo *et al.*, 2001; Olivo, 2009).

La superficie de las áreas de inundación se estimó por medio de la digitalización y aplicando luego del concepto de la inundación simple. El incrementar el contorno de 0,5 metros más arriba de la línea de agua superior, se consideró de acuerdo con los mapas cartográficos y de los trabajos de campo, y se asumió un gradiente constante de inclinación y el resultado final fue una nueva línea de agua considerando la tierra inundada como perdida.

Para estimar las pérdidas de tierra por erosión se aplicó la metodología de Bruun modificada por Hands (1983) como se indica en Nicholls y Leatherman (1995), Nicholls *et al.*, (1995), Olivo (1999), Diez (2000), Olivo *et al.*, (2001), Davidson-Arnott (2005) y Olivo (2009) (1), posteriormente se modificó la fórmula (2) a fin de incluir las características del sedimento.

$$R = S * \frac{L}{H} \quad (1)$$

$$R = S * G * \left(\frac{L}{B + h_x} \right) \quad (2)$$

Donde:

R: retiro o recesión de la costa

S: aumento del nivel del mar

L: amplitud del perfil activo total es

H: altura del perfil activo.

G: la proporción de material erosionable que permanece en el perfil activo, el cual por convención se considera 100%.

R representa el retiro o recesión de la costa, provocada por el aumento del nivel del mar **S**, la amplitud del perfil activo total es **L** y **H** es la altura del perfil activo. **G** es la proporción de material erosionable que permanece en el perfil activo, el cual por convención se considera 100%. Debe resaltarse, que en vista de que en la costa estudiada no existen formaciones de dunas bien desarrolladas, la altura de la duna (**B**) se consideró como la altura desde el nivel medio de mar hasta la formación vegetal más cercana, la profundidad de cierre para las condiciones actuales corresponde a h_x ; se observa que $H = B + h_x$.

Esta metodología es ampliamente usada para estimar los efectos físicos del potencial incremento del nivel medio del mar en playas arenosas, es uno de los pocos modelos orientado a la evaluación de las modificaciones permanentes del nivel del mar, que permite la comparación de los resultados, con los obtenidos en otros estados costeros.

Se usaron dos estimados de la profundidad de cierre $d_{L,1}$ y $d_{L,100}$, para relacionarlos con la profundidad actual de cierre (Nicholls *et al.*, 1995), ya que esta variable es la más difícil de determinar debido a la inexistencia de datos relacionados con el transporte de sedimentos. De acuerdo con lo anterior, $d_{L,1}$ es la profundidad de cierre para un año, mientras $d_{L,100}$ es la profundidad de cierre para cien años. Los autores previamente mencionados, plantean que es posible asumir, $d_{L,100}$ como 1,75 veces $d_{L,1}$.

Dado que no se tienen datos adecuados, tales como la mayor profundidad a la cual el transporte de sedimentos es más intenso hacia y

desde la costa, ni la altura significativa promedio de las olas con su desviación estándar, se utilizó la profundidad de cierre de 5 metros para el área de estudio tal como lo proponen Arismendi y Volonté (1992). Este valor indica que aproximadamente hasta esa profundidad, las olas influyen en el fondo y la pendiente es relativamente estable. De esta forma, estos dos valores dan un rango de estimación de pérdidas de tierra debido a la erosión.

RESULTADOS

Evaluación de los cambios físicos: tierra en riesgo

En el cuadro 2, se presentan los datos promedios de la longitud del perfil activo obtenidos en campo, con su respectiva desviación estándar, y la profundidad de cierre establecida (5 metros), para de estimar la recesión potencial de la línea costera en Cabo Codera- Laguna de Tacarigua.

Cuadro 2. Datos promedios usados para la estimación de la erosión potencial en Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda

Longitud promedio del perfil activo (L) (m)	Profundidad de cierre (H) (m)
229,50 ± 51,09	5,00

Fuente: Elaboración propia (2009) según datos obtenidos salidas de campo

Al aplicar la metodología de Bruun modificada por Hands (1983), se obtuvo un estimado promedio del retiro o regresión de la línea de costa de **23 m ± 5,44.m.**

Al asumir, $d_{L,100}$ como 1,75 veces $d_{L,1}$ tal como recomiendan Nicholls *et al.*, (1995) y Leatherman (2001), se obtiene que un aumento del nivel del mar de 0,5 metros podría causar una pérdida estimada de tierra debido a erosión de entre 5,00 y 8,75 km² (cuadro 3). Adicionalmente, este sector es altamente vulnerable a la inundación potencial, ya que está sujeto a una

pérdida de tierra de 15,43 km², calculada a partir de los planos topográficos disponibles, fundamentalmente en las cercanías de la laguna de Tacarigua e Higuerote.

Cuadro 3. Pérdidas potenciales de tierra por erosión e inundación en

Erosión (km ²)		Inundación (km ²)
Estimado bajo *	Estimado alto **	15,43
5,00	8,75	

Fuente: Elaboración propia (2009) según datos obtenidos en salidas de campo

* Profundidad de cierre para 1 año $d_{L,1}$ = actual

** Profundidad de cierre para 100 años $d_{L,100}$ = 100 años

En la cuadro 4, se muestran las pérdidas de tierra totales estimadas debido a la erosión e inundación y el área donde no se esperan cambios, considerando el escenario de 0,5 metros de incremento del nivel del mar.

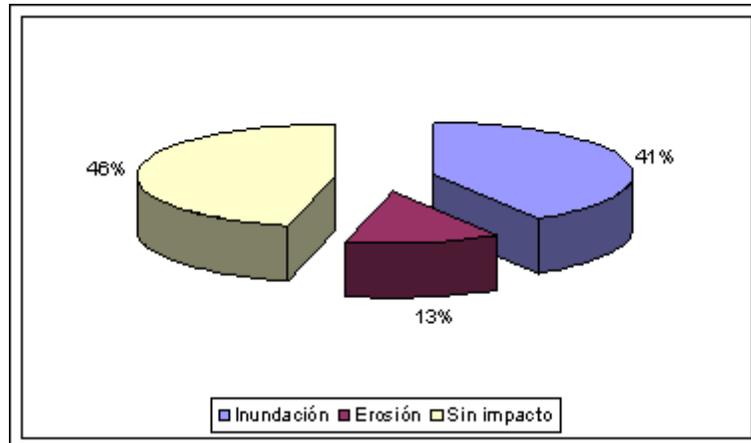
Cuadro 4. Pérdidas potenciales totales de tierra por inundación y erosión en Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda (km²)

Superficie área de estudio	Erosión	Inundación	Área sin Impactos
(km ²)			
37,90	5,00	15,43	17,90

Fuente: Elaboración propia (2009) según datos obtenidos salidas de campo

En la figura 2, se expresan gráficamente estos resultados, observándose que estaría en riesgo el 41% de la superficie del área de estudio, por inundación y, 13% debido a la erosión, mientras que el 46% de la superficie total (37,90 km²) no estaría afectado.

Figura 2. Pérdidas de tierra estimadas en Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda



Fuente: Elaboración propia (2009) según datos de cuadro 4

En la metodología propuesta por Bruun y modificada por Hands (1983), se asume que el perfil de playa está en equilibrio, y refleja el oleaje y tamaño del sedimento, en razón de que la transferencia neta de sedimentos se realiza hacia y desde la costa. Sin embargo, se conoce que en realidad el perfil de la playa no se encuentra en equilibrio, y que existe también un transporte de sedimentos a lo largo de la costa; de manera que es una simplificación necesaria en vista de la limitación de los datos.

La determinación del punto final, mar afuera del perfil y su comportamiento ha estado sujeto a debate, sin embargo, actualmente se ha establecido como sinónimo del concepto de profundidad de cierre (Phillips y Williams, 2007). Este parámetro es difícil de estimar en vista que muchos países no cuentan con información a largo plazo sobre el transporte de sedimentos hacia y desde la costa, ni de las características del oleaje (Nicholls *et al.* 1995).

Phillips y Williams (2007), señalan que este parámetro debe considerarse como aquella profundidad donde el movimiento de sedimentos es insignificante y dependiente del tiempo. También puede verse como la

profundidad donde no hay cambio significativo en la elevación del fondo ni intercambio neto de sedimentos entre la costa y el sector marino externo.

En esta investigación se usaron 5 m como profundidad de cierre, valor que se considera cercano a la realidad observada durante las visitas de campo, no obstante, este supuesto es una limitación para la aplicación de la metodología de Bruun modificada por Hands (1983).

En el sector de estudio, se estimó un retiro o regresión de la línea de costa promedio de **23 m ± 5,44 m**. En Uruguay, Saizar (1997), al aplicar la misma metodología, estimó un retiro de la línea costera entre 56 y 112 m, concluyendo en que la costa de Montevideo es moderadamente sensible a la erosión provocada por el incremento del nivel medio del mar, y que no afectará a la ciudad capital que cuenta con un alto nivel de inversiones y ocupación. Jallow *et al.*, (1996) estimó en la República de Gambia, un retiro de la línea de costa entre 6,8 m en áreas de arrecifes a 880 m en áreas arenosas más planas, al utilizar esta misma metodología.

Para el propósito de este estudio, se aplicaron dos estimados de la profundidad de cierre, $d_{L,1}$ = profundidad de cierre anual y para 100 años $d_{L,100}$, de acuerdo a la propuesta de Hands (1983). Los autores asumieron que $d_{L,100}$ como 1,75 veces $d_{L,1}$.

El U.S Army Corps of Engineers (1984) ha establecido que la profundidad de cierre para unos 100 años sería 65 % mayor que el valor anual. Lo interesante de las dos propuestas, sin considerar el factor multiplicador, es que ambas coinciden en que a futuro, la erosión será mayor, ya que la profundidad de cierre está directamente relacionada con la tasa de erosión. Phillips y Williams (2007), concluyen en que grandes profundidades de cierre pueden predecir una recesión de la playa relevante.

Al estimar que $d_{L,1}$ es aproximadamente 5 metros, entonces $d_{L,100}$ corresponde a 8,75 m, de manera que para el área de estudio Cabo Codera-Laguna de Tacarigua se obtuvo que, un aumento del nivel del mar de 0,5 m, podría causar una pérdida estimada de tierra debido a erosión entre 5,00 y 8,75 km², valores bajo y alto respectivamente, que proporcionan dos

estimados que proporcionan las condiciones límites y, por tanto, de la posible recesión de la playa en respuesta a la erosión de la línea de costa al escenario de ascenso de 0,5 metros en el nivel del mar. De manera que, si no se toman las medidas de adaptación adecuadas, tales como: retiro, adaptación o protección, las pérdidas de tierra se incrementarán en el tiempo.

Además, este sector es altamente vulnerable a la inundación potencial ya que está sujeto a una pérdida de tierra de 15,43 km², fundamentalmente en las cercanías de la Laguna de Tacarigua e, Higuerote.

Olivo *et al.*, (1996), reportaron como área más crítica al incremento del nivel del mar, la costa oriental del lago de Maracaibo, con un valor capital en riesgo de 26,91x10⁹ millones de bolívares, pérdidas altas de tierra por erosión (11,20 km²) e inundación (13,19 km²), debido fundamentalmente a la subsidencia provocada por la explotación petrolera.

CONCLUSIONES

- Al evaluar la vulnerabilidad ante el incremento del nivel del mar en la zona, Cabo Codera - Laguna de Tacarigua, se obtuvo que las pérdidas por inundación (15,43 km²) son más importantes que las originadas por erosión (5 km²), adicionalmente se estimó una regresión de la línea de costa de aproximadamente $23 \pm 5,44$ m en 100 años.
- Los resultados obtenidos en cuanto a las pérdidas de tierra debidas al potencial ascenso del nivel del mar, indican que potencialmente estaría en riesgo el 41% de la superficie del área de estudio por inundación y, 13% debido a la erosión, mientras que el 46% de la superficie total evaluada (37,90 km²) no estaría afectada. Estos valores permiten clasificar al sector Cabo Codera- Laguna de Tacarigua con riesgo bajo (5 km²) a la erosión y, medio (15,43 km²) a la inundación, si se compara con los valores obtenidos en otros casos de estudio:

Superficie de tierra perdida (km²)

Alta	Media	Baja
≥51 Buenos Aires Argentina	11-50 Costa Oriental Lago Maracaibo, Venezuela	0-10

Fuente: Elaboración propia según Dennys, *et al.* (1995) y Olivo *et al.*, (1996)

La regresión de la línea de costa ($23 \text{ m} \pm 5,44 \text{ m}$), puede considerarse baja, al compararla con los resultados reportados en la República de Gambia o en Montevideo:

Regresión de la línea de costa (m)

Alta	Media	Baja
≥16 Gambia	31-115 Montevideo, Uruguay	0-30

Fuente: Elaboración propia según Jallow *et al.* (1996) y Saizar (1997)

- Los efectos del ascenso del nivel del mar son un acelerador de la problemática ambiental que actualmente existe en el área de estudio, la herramienta del manejo integrado de costas puede lograr su desarrollo sostenible basado en la armonización, participación y toma de decisiones estratégicas.

RECOMENDACIONES

- Es prioritario implementar acciones a la brevedad posible para mitigar el ascenso del nivel del mar, que causaría el retroceso de la línea costera con la pérdida de tierra asociada, y que también

incidiría en la biodiversidad, ciclos biogeoquímicos y hasta la salud de los seres humanos.

- La zona de estudio puede anticipar y adaptarse al potencial incremento del mar, ya que gran parte de la costa presenta poco desarrollo y cuenta con variadas regulaciones ambientales, urbanísticas y de ordenación del territorio, que se deben cumplir estrictamente para brindar sustentación a la planificación costera, y evitar las construcciones localizadas en áreas en riesgo ante el potencial ascenso del nivel del mar.
- Incorporar la visión de la vulnerabilidad en los procesos de planificación y ordenamiento territorial, ya que esto permitirá establecer medidas no estructurales para la prevención y mitigación de los impactos del ascenso del nivel del mar.
- Formular estrategias adecuadas de comunicación y educación, a fin de promover la participación y el compromiso ciudadano.
- Proponer programas de educación formal e informal sobre las causas y efectos de los cambios climáticos, y específicamente los relacionados con el potencial ascenso del nivel del mar, dirigidos a diferentes niveles de la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alley, R., Berntsen T., Bindoff N., Chen Z., Chidthaisong A., *et al.* (2007). *Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Approved at the 10th session of working group I of the IPCC, Paris, February 2007.
- Arismendi, J. y C. Volonté (1992). The impacts of sea level rise on the coastline of Venezuela. In: *Changing climate and the coast*. (ed.) Titus, J. Washington, D. C. Environmental Protection Agency. (2):385-397.
- Barros, V. (2006). El cambio climático ya se está notando en la Argentina. Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera de la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA. 20-11-2006. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Unidad de comunicación e información pública. Disponible <http://www.rolac.unep.mx>. Consultado 01-04-2007.

- Church, J., Gregory J., Huybrechts P., Kuhn M., Lambeck K., *et al.* (2001). Changes in sea level rise. In: *Climate change 2001. The scientific basis.* (eds.) J. Houghton, Y. Ding, D. Griggs, M. Noguer, J. Van Der Linden *et al.* Cambridge and New York. Cambridge University press, p. 639- 694.
- COPLANARH-Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos- (1970). *Inventario nacional de tierras. Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos.* Caracas. Venezuela, 345 p.
- Davidson-Arnott, R. (2005). Conceptual model of the effects of sea level rise on sandy coasts. *Journal of Coastal Research* 21(6):1166-1172.
- Diez, J. (2000). A review of some concepts involved in the sea-level rise problem. *Journal of Coastal Research* 16(4):1179-1184.
- Ekeren, S. (2007). Coastline change assessment at the Aegean sea coasts in Turkey using multitemporal landsat imagery. *Journal of Coastal Research* 23 (3):691-698.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela. 1974. Parque Nacional Laguna de Tacarigua. G. O. N° 30.330 del 14-02-1974. Decreto N° 1607 del 13-02-1974.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela. 1982. Zona de Aprovechamiento Agrícola. G.O. N° 32.466 del 04-05-82. Decreto N° 1.478.
- Glick, D. (2004). Marcas geográficas. El gran deshielo. En calentamiento global. *Informes de un planeta caliente. Revista Nacional Geographic.* Septiembre 2004, p 12-19.
- Hands, E. (1983). The great lakes as a test model for profile responses to sea level changes. In: *Handbook of coastal processes and erosion.* (ed.) P. Komar. CRC press. Boca Raton, Florida, 167-189 p.
- Houghton, J., Ding Y., Griggs D., Noguer M., Van der Linden P., *et al.* (2001). *Climate change 2001: The scientific basis,* Cambridge University Press, p. 944.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (1992). *Cambio climático, estrategias de respuestas del IPCC.* Grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático. Informe Preparado por el Grupo de Trabajo II. Versión española a cargo del Instituto Nacional de Meteorología. OMM-PNUMA Madrid, 256 p.
- Jallow, B., Barrow K. y S. Leatherman (1996). Vulnerability of the coastal zone of the Gambia to sea level rise and development of response strategies and adaptation options. *Climate Research* 6: 165-177.
- Klein, R., Nicholls, R., Ragoonaden S., Capobianco M., Aston J., *et al.* (2001). Technological options for adaptation to climate change in coastal zones. *Journal of Coastal Research* 17(3):531-543.

- Leatherman, S. (2001). Social and economic costs of sea level rise. In: *Sea level rise-history and consequences*. (eds.) Douglas B., Kearney M., and Leatherman S. Academic press. San Diego, California, 181-223 p.
- Leatherman, S. y R. Nicholls (1995). Accelerated sea- level rise and developing countries. In: An international forum for the littoral sciences. Potential impacts of accelerated sea- level rise on developing countries. (eds.) R. Nicholls and S. Leatherman. Published by the coastal education and research Foundation. *Journal of Coastal Research* SI (14): 1-14.
- Magrin, G., Gay D., Cruz J., Giménez A., Moreno G., *et al.* (2007). Latin America. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds.) M. Parry, O. Canzini, J. Palutikof and C. Hanson. Cambridge University press, Cambridge, UK, 581-615.
- Martínez, J., Navarro T., Boldán A. y M. Rosario (1987). *Cuantificación e interpretación de los procesos de acreción-erosión en la playa arenosa de El Hombre* (Gran Canaria-España). Actas de la VII Reunión sobre el Cuaternario. Santander, Septiembre 1987). *AEQUA*: 227-230.
- McFadden, L., Nicholls R., Vafeidis A. y R. Tol (2007). A methodology for modeling coastal space for global assessment. *Journal of Coastal Research* 23 (4):911-920.
- MARNR-MEM-UNEP-U.S Country Studies Program (1996). Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables-Ministerio de Energía y Minas- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - Programa de los Estados Unidos para Apoyar el Estudio de Países. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero Venezuela. Publicidad Gráfica León. Caracas, 57 p.
- Mitrovica, J., Tamisiea M., Davis J. y G Milne (2001). Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea-level change. *Nature* 409 (6823): 1026-1029.
- Nakicenovic, N., Alcamo G, Davis B., de Vries J., Fenhann A., *et al.* (2000). Emissions scenarios, a special report of working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 p.
- Nicholls, R. y S. Leatherman (1995). The implications of accelerated sea level rise for developing countries: a discussion. *Journal of Coastal Research* SI (14): 303-323.
- Nicholls, R., Leatherman S., Dennis K. y C. Volonté (1995). Impacts and responses to sea-level rise: qualitative and quantitative assessments. *Journal of Coastal Research* SI (14): 26-43.

- NOAA- National Oceanic and Atmospheric Administration (2008). Más CO₂ que nunca. [Documento en línea]. 14-05-2008. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Unidad de Comunicación e Información Pública. Disponible <http://www.pnuma.org/informacion/noticias/2008-05/14/#111> 14-05-2008. Consultado 24-05-2008.
- Olivo, M. L. (1999). Impactos de los cambios climáticos en aspectos socioecológicos en la zona costera centro oriental venezolana (Cabo Codera- Laguna de Tacarigua). Universidad Central de Venezuela. Trabajo de ascenso a la categoría de Agregado. Mención Honorífica y Publicación. Facultad de Medicina. Escuela de Nutrición y Dietética. Caracas, 267 p.
- Olivo, M. L., Letherny E., Platt C. y M. Sosa (1996). Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar originado por el cambio climático global, Venezuela. Caso-estudio Venezuela sobre cambios climáticos. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, Ministerio de Energía y Minas, U.S. Country Studies Program. Caracas, 42 p.
- Olivo, M. L., Letherny E., Platt C. y M. Sosa (2001). Pérdidas de tierra en la costa venezolana debido al incremento del nivel de mar. *Ecología tropical para el siglo XXI: biodiversidad, cambio global y restauración de ecosistemas. Interciencia* 26(10): 463 - 468.
- Olivo, M. L., Bastardo H. y A. Linares (2004). Diagnóstico ambiental de la cuenca hidrográfica del río Guapo y su incidencia en el parque nacional laguna de Tacarigua. Proyecto financiado por el CDCH de la UCVP1 09.13.4573.2000, 123 p.
- Olivo, M. L. (2009). El potencial incremento del nivel del mar como un resultado del cambio climático global en Venezuela: caso Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda. Tesis Doctoral. Mención Honorífica. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Humanidades y Educación. 300 pp.
- Olivo, M. L., Martín, A., Sáez, V., y A. Soto (2010a). Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar. Medio socioeconómico: área Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Terra* XXVI (39):59-75.
- Olivo, M. L., Sáez-Sáez, V., Martín, A., y A. Soto (2010b). Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar. Usos de la tierra y valor capital en el área Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Terra* XXVI (39): 99-120.
- Olivo, M. L., Sebastiani, M. y A. Soto-Olivo. (2010c). Lineamientos de manejo ambiental para compatibilizar el uso de la tierra en el Parque Nacional Laguna de Tacarigua- área de amortiguamiento, con la preservación del ecosistema

- lagunar. Simposio Humedal Laguna de Tacarigua. 12 Mayo 2010. Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Ponencia.
- Penchaszadeh P., León C., Alvarez H., Martin A., *et al.* (2000). Venezuela, Chapter 41. In: *Seas at the Millennium: An Environmental Evaluation*. Vol. I Regional Chapters: Europe, The Americas and West Africa. (eds.) Ch. Sheppard. Pergamon. University of Warwick. Coventry, UK. 661 p.
- Phillips M. y A. Williams (2007). Depth of closure and shoreline indicators: empirical formulae for beach management. *Journal of Coastal Research* 23(2): 487-500.
- PNUMA-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente- (2004). La NASA confirma el aumento del nivel del mar por el calentamiento. [Documento en línea]. 07-06-2004. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Unidad de Comunicación e Información Pública. Disponible <http://www.rolac.unep.mx>. Consultado 06-07-2004.
- Rangel, N. y B. Posada (2005). Geomorfología y procesos erosivos en la costa norte del departamento de Córdoba, Caribe colombiano (sector Paso Nuevo-Cristo Rey). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. INVEMAR*. 34 (1): 1-23.
- Saizar, A. (1997). Assessment of impacts of a potential sea-level rise on coast of Montevideo, Uruguay. In: *Vulnerability and adaptation to climate change in Latin America*. (ed.) C. Ramos-Mañe. *Climate Research CR Special* 9 (1-2): 73-79.
- U.S Army Corps of Engineers (1984). Shore protection manual. Army engineers waterways experimental station. Washington. D. C. 56 p.
- Volonté, C. y J. Arismendi (1995). Sea level rise and Venezuela: potential impacts and responses. *Journal of Coastal Research* SI 14: 285-302.
- Walsh, K., Betts H., Pittock A., Jackeu D. y T. McDougall (2004). Using sea level rise projections for urban planning in Australia. *Journal of Coastal Research* 20(2) 586-598.

María de Lourdes Olivo. Licenciada en Biología, Mención Ecología, Universidad Simón Bolívar (1981). Master en Ciencias Biológicas-Universidad Simón Bolívar (1992). Doctora en Humanidades Área Geografía-Mención Honorífica, Universidad Central de Venezuela (2009). Profesora Asociado de la Facultad de Medicina de la Universidad Central de Venezuela. Inició su desarrollo profesional en el Ministerio del Ambiente, y luego se desempeñó en diferentes organismos del sector público y privado como asesora y consultora ambiental. Correo electrónico: lourdesolivo@gmail.com.

Alberto Martín. Licenciado en Ciencias Biológicas, Universidad Simón Bolívar, 1985. Maestría en Administración Ambiental (IUPFAN, 1987) y Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Madrid (1997). Es profesor Titular del Departamento de Estudios Ambientales de la Universidad Simón Bolívar. Los resultados de sus investigaciones se reflejan en 39 artículos en revistas arbitradas nacionales e internacionales, varios libros y capítulos de libros. Es Investigador PPI-III.
Correo electrónico: amartinz@usb.ve.

Vidal Sáez-Sáez. Profesor Asociado. Doctor en Ciencias, UCV 2002. Especialista en Agrometeorología, Bélgica, 1990. Licenciado en Geografía, UCV, 1987. Director de los Estudios de Postgrado de la Facultad de Humanidades y Educación. Coordinador de la Maestría en Análisis Espacial y Gestión del Territorio FHE-UCV. Miembro del Comité Académico del Doctorado en Humanidades. UCV. Docente en pre y postgrado-UCV. Es Investigador PPI-II.
Correo electrónico: vial2ss@cantv.net.

Alejandra Soto Olivo. Licenciada en Ciencias Biológicas, Universidad Simón Bolívar, 2006. Cursante de la Maestría Ambiente y Desarrollo, Universidad Simón Bolívar (2008). Consultora ambiental con experiencia en diferentes clases de estudios ambientales, especialmente estudios de impacto ambiental. Cuenta con artículos publicados en revistas científicas y participación en eventos nacionales e internacionales.
Correo electrónico: ale_6_11@yahoo.com.