

## VULNERABILIDAD DE LAS PLAYAS ARENOSAS DEL CARIBE DE PANAMÁ ALA ELEVACIÓN EN EL NIVEL DEL MAR

LUIS MIGUEL GONZÁLEZ<sup>1</sup>, LUÍS D' CROZ & JUAN ANTONIO GÓMEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidad de Panamá. Apartado 0838-01237, Panamá.  
mreal9@yahoo.es*

<sup>2,3</sup>*Departamento de Biología Marina, Universidad de Panamá, Panamá.*

**RESUMEN:** En el marco del cambio climático debido al calentamiento global, en el presente estudio se recurre al programa (software) MAGICC-SCENGEN para determinar las consecuencias en el nivel del mar (elevación) de dos escenarios de emisión (A1B y A1F1). Las proyecciones de la elevación del nivel del mar así obtenidas son utilizadas para valorar el impacto que puedan tener sobre el litoral arenoso en el Caribe de Panamá. Para ello consideramos en detalle una playa arenosa en la Costa Arriba de la Provincia de Colón, Panamá. La Figura 3 presenta las proyecciones para el nivel medio del mar, en el intervalo 1990 a 2010, calculadas con MAGICC utilizando los escenarios: A1F1, que se caracteriza por el uso intensivo de combustibles fósiles; y A1B, que se caracteriza por un balance entre todas las fuentes de energía. Vemos aquí que el mejor estimado de la elevación del nivel del mar, utilizando el escenario extremo A1F1, alcanza los 48 cm para el año 2100. En la Figura 4 se muestra el nivel de erosión que puede esperarse en María Chiquita en el año 2100 con el escenario extremo A1F1. De manera que podemos concluir que las playas arenosas del Caribe de Panamá son vulnerables al aumento en el nivel medio del mar.

Palabras claves: María Chiquita, cambio climático, playas, MAGICC

**ABSTRACT:** We projected two rising sea level scenarios, A1B and A1F1, using MAGICC-SCENGEN software to depict the impact of greenhouse gas emissions on María Chiquita, a sandy beach on the Costa Arriba area of Panama's Colon Province. Mean sea level rise for both A1B, characterized by a balanced use of energy sources, and A1F1, characterized by an intensive use of fossil fuels, for the period 1990-2010 is depicted. A depiction of A1F1 is also presented, a rise of 48 cm in sea level representing the best estimate for 2100. The erosion expected on María Chiquita by 2100 in the extreme A1F1 scenario also points to the vulnerability of Panama's Caribbean coast to rising sea levels.

Keywords: María Chiquita, climate change, beaches

### INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), en su Cuarto Reporte de Evaluación, establece que el nivel promedio del mar, a escala global, ha aumentado (BINDOFF *et al.* 2007). Además, en todos los escenarios de emisiones proyectados por el IPCC se prevé que durante el siglo XXI aumenten las concentraciones de dióxido de carbono, la temperatura media de la superficie del planeta y el nivel del mar. El aumento en el nivel del mar tendrá impactos sobre los ecosistemas costeros. Estos impactos pueden incluir un aumento en la erosión costera así como un aumento en la frecuencia y la intensidad de las inundaciones que ocurren en el área (McCARTHY *et al.* 2001). Los efectos que la elevación en el nivel del mar puedan tener sobre las playas arenosas (erosión) han sido previamente investigados (DAVIDSON-ARNOT 2005).

En el año 2000 IPCC publicó un conjunto de escenarios de emisión de gases de invernadero (SRES; Special Report on Emissions Scenarios), los cuales son imágenes alternativas de lo que puede suceder en el futuro en relación con diferentes vías de desarrollo global y diferentes niveles de emisión de gases de invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc.). Estos escenarios son herramientas apropiadas para apoyar el análisis del cambio climático (NAKICENOVIC 2000).

En el presente estudio se consideran los siguientes escenarios: A1F1 que implica el uso intensivo de combustibles fósiles y A1B condición basada en un uso balanceado entre varias fuentes de energía. Los escenarios SRES han mostrados ser consistentes con los datos disponibles a nivel global. Aunque al comparar los SRES con proyecciones a corto plazo, a nivel regional, se

encuentran algunas diferencias para Latinoamérica, África y el Medio Oriente (VAN VUUREN & O'NEILL 2006).

El programa (software) MAGICC-SCENGEN es un conjunto de modelos climáticos que permiten, de manera amigable, determinar la temperatura promedio global y las consecuencias en el nivel del mar (elevación) de los diferentes escenarios de emisión (SRES) especificados por el usuario (WIGLEY 1994). Las proyecciones de la elevación del nivel del mar han sido utilizadas en la literatura científica para valorar el impacto potencial que pueda esperarse en la costa (WALSH *et al* 2004).

En el Caribe de Panamá el intervalo intermareal es pequeño (30 cm), y los asentamientos costeros se ubican relativamente cerca del nivel medio del mar. Por tanto consideramos relevante el evaluar los cambios potenciales que la elevación del nivel del mar debido al cambio climático pueda tener sobre el litoral arenoso en el Caribe de Panamá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de Estudio.** Se consideró en detalle una playa arenosa en la Costa Arriba de la Provincia de Colón, en la costa Caribe de Panamá. Esta zona se ubica entre la ciudad de Colón y la Comarca de Kuna Yala, específicamente en María Chiquita. Se evaluó el retroceso de la línea de la orilla (erosión) que puede esperarse con la elevación en el nivel del mar en dicha playa. Esta área se escogió por su condición de playa arenosa y por el potencial turístico de las playas de esta zona. Se utilizó un sistema de información geográfica (SIG) para representar en un mapa las áreas con riesgo de erosión.



Fig. 1. Costa Arriba de Colón. Localización regional de María Chiquita

El Archivo Conjunto para Nivel del Mar (JASL) es una colaboración entre el Centro del Nivel del Mar de la Universidad de Hawai (UHSLC) y el Centro Mundial de Datos-Silver Spring (WDC-SS) para Oceanografía y está localizado en el Centro Nacional de Datos Oceanográficos de los Estados Unidos. El objetivo principal de JASL es el de preparar un archivo bien documentado y científicamente válido de valores de nivel del mar en formatos estandarizados, que esté disponible para la comunidad internacional de investigadores. El JASL ofrece acceso a varios tipos de datos, entre ellos, el Conjunto de Datos de Calidad de Investigación. Estos datos pasan por un proceso de control de calidad que incluye una revisión del nivel de referencia local.

Más de 70 países han contribuido con esta iniciativa; entre ellos Panamá por medio de la antigua Comisión del Canal de Panamá (PCC) y la actual Autoridad del Canal de Panamá (ACP). De manera que el JASL cuenta con datos del nivel del mar, de calidad de investigación, para Cristóbal en la Provincia de Colon (9.35 N, 79.917 W) para el período de 1907 a 1979. Posterior a esta fecha el mareógrafo fue movido a Coco Solo y luego a Bahía de Limón. Los datos para el periodo indicado fueron obtenidos del sitio de Internet de JASL.

Para obtener las consecuencias en el nivel del mar de varios escenarios de emisión (SRES) se utilizó el software MAGICC-SCENGEN, el cual es un modelo que acopla ciclos de gases y clima (MAGICC; Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change), que alimenta a un generador de escenarios de cambio climático (SCENGEN; SCenario GENerator). MAGICC ha sido uno de los modelos primarios utilizados por IPCC desde 1990 para producir proyecciones de futura elevación del nivel del mar y temperatura. La versión 5.3 del software tiene los modelos de circulación general (AOGCM) del Cuarto Reporte de Evaluación de IPCC, Grupo de Trabajo 1 (AR4). Con este modelo climático realizamos proyecciones del aumento global del nivel del mar que se espera en los años de 2020 a 2100 para dos escenarios SRES: A1B y A1F1. Se obtuvieron también las tasas de elevación del nivel del mar para este periodo.

Con la finalidad de evaluar el impacto de la elevación del nivel del mar (ENM) en playas arenosas, se utiliza el modelo MAGICC-SCENGEN para estimar los valores máximos que pueda alcanzar dicha ENM.

## RESULTADOS

Los datos que utilizamos para evaluar la elevación del nivel del mar en el Caribe de Panamá consisten de promedios anuales del nivel del mar medidos en Cristóbal entre los años de 1907 a 1979. En 1980 la estación mareográfica de Cristóbal fue movida a Coco Solo y el Servicio Permanente para el Nivel Medio del Mar (PSMSL) recomienda que la serie extendida con valores posteriores a 1980 debe usarse con extrema cautela por razones de la trazabilidad del cero de la regla o mareógrafo (<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/169.php>).

Los promedios anuales de las elevaciones del nivel del mar son presentados en la Figura 2. En los datos se observa una tendencia a la elevación en el nivel medio del mar, con un valor de 1.45 mm por año. Para cuantificar el aumento en el nivel medio del mar notamos que la diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 187 mm.

DEAN & DALRYMPLE (2004) establecen que en muchas localizaciones alrededor del mundo, de acuerdo con la regla de BRUUN, las tasas de retroceso de las playas se ubican entre 50 y 100 veces la tasa de elevación del nivel del mar observada para la respectiva área geográfica.

El escenario de emisiones SRES A1F1 conduce a una tasa de elevación en el nivel del mar del 0,28 cm por año en el periodo 2010 – 2040 y de 0,64 cm por año en el

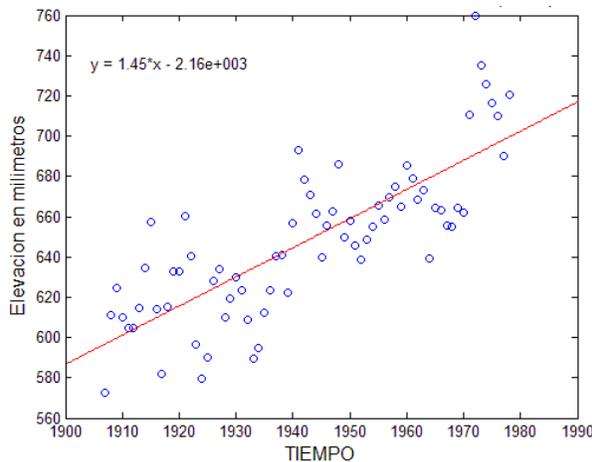


Fig. 2. Grafica de los promedios anuales del nivel del mar obtenidos del Archivo Conjunto para Nivel del Mar (JASL).

periodo 2050 – 2100. Mientras que el escenario de emisiones SRES A1B conduce a una tasa de elevación en el nivel del mar del 0,26 cm por año en el periodo 2010 – 2040 y de 0,44 cm por año en el periodo 2050 – 2100. De manera que si multiplicamos dichas tasas de elevación por el número correspondiente de años en que actúan; y el resultado que obtenemos con este producto lo multiplicamos por 100, obtenemos que bajo el escenario de emisiones SRES A1F1 el retroceso en el perfil de la playa puede estimarse en 40 metros para el año 2100, mientras que bajo el escenario de emisiones SRES A1B el retroceso en el perfil será de 30 metros.

La Figura 3 presenta las proyecciones para el nivel medio del mar, en el intervalo 1990 a 2100, calculadas con MAGICC utilizando los escenarios: A1F1, que se caracteriza por el uso intensivo de combustibles fósiles; y A1B, que se caracteriza por un balance entre todas las fuentes de energía. Vemos aquí que el mejor estimado de la elevación del nivel del mar, utilizando el escenario A1F1, alcanza los 48 cm para el año 2100. Por su parte, el mejor estimado para el año 2100 del escenario A1B es de 37 cm. Se observa un aumento en la pendiente de las líneas que representan los mejores estimados, hacia el año 2040. La Figura 4 muestra el nivel de erosión esperado en María Chiquita para el año 2100 con el escenario extremo A1F1, calculado con el programa MAGICC-SCENGEN. Se observa aproximadamente 40 metros de erosión para A1F1.

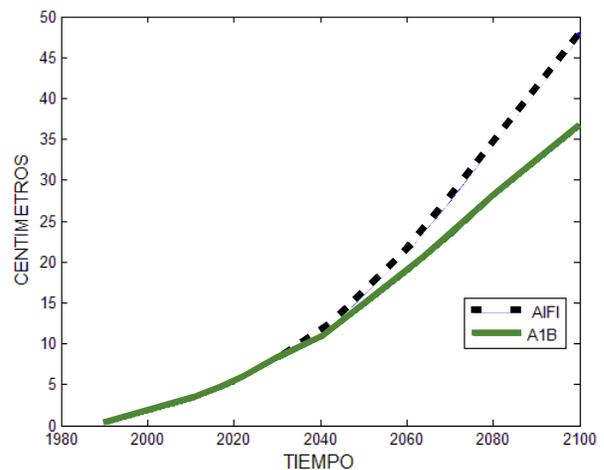


Fig. 3. Grafica del mejor estimado de las proyecciones para la elevación del nivel del mar calculadas con MAGICC utilizando los escenarios SRES A1F1 y A1B.



Fig. 4. Vista esquemática del nivel de erosión (línea) que puede esperarse en María Chiquita en el año 2100, utilizando el escenario SRES A1F1. Imagen base obtenida con Google Earth.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El nivel del mar a nivel global se está elevando. Desde 1961 hasta 1993, la tasa promedio anual de elevación del nivel del mar fue de  $1.8 \pm 0.5$  mm/año y de  $3.1 \pm 0.7$  mm/año para el intervalo de años que va desde 1993 hasta 2003 (BINDOFF *et al.* 2007).

La tendencia de aumento del nivel del mar observada en la Figura 2 es cónsona con lo que ocurrió en esa época en otras latitudes, tal como en Galveston, Texas, EUA (<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/828.php>).

El cambio climático y el aumento en el nivel del mar afectarán los asentamientos costeros y la infraestructura de varias maneras. La degradación de los sistemas costeros debido al cambio climático, tales como las playas elimina las defensas naturales de la costa (IPCC, 2007). En las costas del Caribe existen muchas áreas que son muy susceptibles a la erosión, y en algunas playas se han registrado eventos erosivos en décadas recientes. Un aumento en el nivel del mar se traducirá en una erosión acelerada en estas áreas debido a un aumento en el ataque de las olas (SIMPSON *et al.* 2010).

La primera relación entre un incremento en el nivel del agua y la respuesta del perfil de una playa a este aumento fue presentada por BRUUN (1962) y es conocida como la regla de BRUUN. En este modelo la respuesta de la playa se considera en términos de un retroceso horizontal del perfil y de la elevación del nivel del mar. Debido a su sencillez, la Regla de BRUUN ha sido utilizada ampliamente en el estudio de los impactos de la erosión que resultan de la elevación en el nivel del mar.

La playa de María Chiquita ha sido clasificada como zona marino-costera vulnerable al cambio climático (ANAM 2010). De acuerdo con las predicciones del alcance de la erosión costera realizadas el escenario A1F1, una parte significativa del poblado será afectado con inundación costera.

Los hallazgos del presente estudio coinciden con lo que ha sido planteado previamente por otros investigadores para los litorales arenosos del Caribe (SIMPSON *et al.* 2010).

El corregimiento de María Chiquita, con una superficie de 90.5 km<sup>2</sup>, contaba con 2 415 personas en el año 2010 (Censos Nacionales 2010). La parte del poblado que se ubica frente al mar consiste de viviendas sencillas de bajo costo. Por lo que, como medida de adaptación a los procesos erosivos que ocurrirán en el futuro recomendamos aplicar el retroceso, que es la política de abandonar las tierras y las estructuras en la zona costera y permitir que los ecosistemas marinos se muevan hacia tierra (McCARTHY *et al.* 2001). Este es el caso debido a que, si se opta por la protección, que involucra el utilizar medidas estructurales y defensivas para proteger la tierra del mar, se incurrirían en grandes costos. Agregamos como conclusión que las playas arenosas del Caribe de Panamá son vulnerables ante el aumento en el nivel medio del mar.

## REFERENCIAS

- ANAM. 2010. *Atlas Ambiental de la Republica de Panamá*. Autoridad Nacional del Ambiente.
- BINDOFF, N.L., J. WILLEBRAND, V. ARTALE, A. CAZENAVE, J. GREGORY, S. GULEV, K. HANAWA, C. LE QUÉRÉ, S. LEVITUS, Y. NOJIRI, C. K. SHUM, L. D. TALLEY & A. UNNIKRISHNAN. 2007. *Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- BRUUN, P. 1962, Sea-level rise as a cause of shore erosion, *J. Waterw. Harb. Div.*, 88(1-3): 117-130.

- CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPUBLICA. 2010. *Censos Nacionales*. República de Panamá.
- DAVIDSON-ARNOT, R. 2005. Conceptual Model of the Effects of Sea Level Rise on Sandy Coasts. *J. Coast. Res.*, 21 (6): 166-172.
- DEAN, R. & R. DALRYMPLE. 2004. *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.
- IPCC, 2007: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.
- MCCARTHY, J., O. CANZIANI, N. LEARY, D. DOKKEN & K. WHITE (eds) (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- NAKICENOVIC N. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*. Cambridge University Press.
- SIMPSON, M.C., D. SCOTT, M. HARRISON, R. SIM, N. SILVER, E. O'KEEFFE, S. HARRISON, M. TAYLOR, G. LIZCANO, M. RUTTY, H. STAGER, J. OLDHAM, M. WILSON, M. NEW, J. CLARKE, O.J DAY, N. FIELDS, J. GEORGES, R. WAITHE & P. MCSHARRY. 2010. Quantification and Magnitude of Losses and Damages Resulting from the Impacts of Climate Change: *Modelling the Transformational Impacts and Costs of Sea Level Rise in the Caribbean* (Full Document). United Nations Development Programme (UNDP), Barbados, West Indies.
- VAN VUUREN D. & B. O'NEILL. 2006. The Consistency of IPCC'S SRES Scenarios to Recent Literature and Recent Projections. *Climatic Change*, 75: 9-46.
- WALSH, K., H. BETTS, J. CHURCH, A. PITTOCK, K. MCINNES, D. JACKETT & T. MCDUGALL. 2004. Using Sea Level Rise Projections for Urban Planning. *J. Coast. Res.*, 202: 586-598.
- WIGLEY, T.M.L. 1994. *MAGICC (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change): User's Guide and Scientific Reference Manual*. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado.

RECIBIDO: Abril 2012

ACEPTADO: Noviembre 2012