

## DETECCIÓN DE PÉRDIDA DE PLAYA MEDIANTE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES DE RESOLUCIÓN ESPACIAL MEDIA EN LA REALIZACIÓN DEL MAPA NACIONAL DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN COSTERA

Z. Vázquez-Ostos<sup>1,\*</sup>, A. F. Barrientos-Reyna<sup>2</sup>, V. A. Minjares-Rivera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Pachuca de Soto, Hidalgo  
zoraya.vazquez@inegi.org.mx

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Aguascalientes, Aguascalientes  
alejandro.barrientos@inegi.org.mx

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Hermosillo, Sonora  
victor.minjares@inegi.org.mx

\* Autor de correspondencia: zoraya.vazquez@inegi.org.mx

### RESUMEN

La zona costera es una región de muy alta productividad biológica, presenta gran diversidad de ecosistemas y se desarrollan muchos procesos naturales y actividades económicas. En México, 17 estados presentan costa y el 15% de la población total del país vive en zonas costeras. En el 2011, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI realizó el Inventario Nacional de Fenómenos Geológicos, incluyendo Erosión Costera, en el que se ubicaron sitios donde se ha reportado pérdida de playa; tomando como insumos, trabajos académicos, artículos o notas periodísticas. A partir del 2012, se trabaja en el mapa de susceptibilidad de erosión costera, generando información propia, que pretende dar cubrimiento nacional del fenómeno; para lograrlo se detecta pérdida de playa utilizando el tratamiento digital de imágenes multiespectrales de resolución espacial media. La finalidad del proyecto es que éste sea de utilidad, tanto a investigadores en ciencias ambientales y terrestres, como a las distintas instancias de gobierno que toman decisiones en cuanto al manejo costero.

**Palabras Clave:** Erosión costera, imágenes satelitales, mapa de susceptibilidad, percepción remota, México.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos geológicos son manifestaciones naturales recurrentes, que tienen su origen en la dinámica interna y externa de la tierra, los cuales son inevitables, por lo que es importante aprender a convivir con ellos, sin embargo, es necesario minimizar los efectos en la ocurrencia de estos eventos y en algunos casos evitar el daño a las vidas humanas, sus bienes y su entorno.

En la actualidad, en muchas regiones alrededor del mundo, los efectos naturales y antropogénicos, como el calentamiento global y el descontrolado desarrollo en la franja costera, han generado alteraciones importantes en la dinámica litoral, cambiando el equilibrio natural de los depósitos sedimentarios que conforman playas y dunas, así como en el incremento de erosión en los acantilados.

La erosión en las costas de México es el resultado de una combinación de causas tanto naturales como inducidas por el hombre. El control de avenidas y retención de sedimentos por las presas de los ríos, la obstrucción del drenaje fluvial y la destrucción de dunas por parte de los desarrollos turísticos y urbanos, causan desequilibrio de los sistemas costeros, provocando procesos erosivos acelerados con pocas posibilidades de recuperación [1].

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), tiene la responsabilidad de normar y coordinar el Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG), a través de dicho sistema y conforme al artículo 59, de su misma ley, el INEGI tiene la facultad de producir información geográfica de interés nacional. El registro de la información referida constituye un insumo invaluable en la planeación, prevención, seguimiento y fortalecimiento de las políticas públicas y acciones que en materia de protección civil preventiva se debe incorporar en México.

En respuesta a la necesidad mencionada, el INEGI, se ha dado a la tarea de generar y administrar el Inventario Nacional de Fenómenos Geológicos que está disponible en el Mapa Digital de México (figura 1) en su versión 6.3.0 (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>). El tema de erosión costera dentro del inventario fue conformado a partir de la recopilación y análisis de información digital e impresa en México; se utilizaron registros de bases de datos, documentos académicos y científicos, así como de fuentes hemerográficas. Posteriormente se ubicaron y georeferenciaron cada uno de los sitios que han reportado algún grado de erosión utilizando conjuntos vectoriales como: Marco Geoestadístico Nacional de INEGI, versión 2015, topográficos escala 1:50 000 y 1:250 000 y raster: imágenes de satélite y ortofotos; todo ello apegado a su respectivo Diccionario de Datos [2].



**Figura 1.** Inventario Nacional de Fenómenos Geológicos; capa de Erosión Costera, en el Mapa Digital de México del INEGI.

El inventario se inició con 71 registros de Erosión Costera en el litoral mexicano, actualmente se tiene un total de 574 sitios con alguna condición de pérdida de playa.

En México no se ha publicado un mapa a nivel nacional que registre el fenómeno de erosión costera, que dé cuenta de la ubicación geográfica, condiciones, características y entorno, así como la estimación de la tasa de pérdida de sedimento. Por ello el Departamento de Geología de la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente del INEGI, consideró dentro de su programa de trabajo, elaborar el mapa Nacional de Susceptibilidad a la Erosión Costera.

El propósito de este trabajo es describir el uso de las imágenes de satélite de resolución media como Landsat y Spot, para la detección de cambio en la línea costera y determinar áreas con niveles erosión.

De 1807 a 1927, todas las representaciones de la línea costera fueron generadas a través de mediciones en campo. De 1927 a 1980 las fotografías aéreas fueron conocidas como la única fuente para el mapeo de la costa mediante técnicas de restitución. A partir de la década de los 1970's, la comunidad

científica tiene acceso a las imágenes de satélite que, a diferencia de las fotografías aéreas, las imágenes de satélite proporcionan una visión global y periódica de la superficie terrestre [3]. Los satélites con sensor remoto multispectral proveen imágenes digitales en bandas espectrales del infrarrojo donde la interfase agua-tierra está bien definida [4].

En los últimos años se han tenido grandes avances en la tecnología de las imágenes de satélite, donde la resolución (espacial y radiométrica) ha ido en aumento, tal es el caso de las plataformas: Geoeye, Aster, Ikonos y Quickbird.

A nivel mundial se han realizado numerosos trabajos referentes a la detección de cambio de la línea costera utilizando imágenes de resolución media de los cuales se pueden mencionar: Un estudio de detección de cambio en la línea de costa combinando las técnicas de cocientes de banda y umbral del histograma en la banda del infrarrojo [5]. También la determinación de cambios en el nivel del agua del lago Seyfe, Turquía empleando imágenes Landsat y con técnicas de clasificación digital [6].

En México, también se han realizado trabajos enfocados a determinar el cambio en la línea costera, sobre todo trabajos de investigación y formación académica por parte de instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a través de Institutos como el de Geografía, de Ingeniería y su laboratorio de Procesos Costeros, así como el Instituto Politécnico Nacional a través del CINVESTAV. También destacan algunos Atlas de Riesgos tanto municipales, regionales y Estatales.

## **2. MATERIALES Y MÉTODO**

### **IMÁGENES**

La obtención de las líneas de costa y extracción de los polígonos de erosión costera de forma semi-automática se realiza identificando y delimitando todas las áreas que manifiesten la erosión, las cuales son detectables mediante el tratamiento digital de series temporales de imagen de satélite, obteniendo imágenes con las bandas del espectro azul, verde e infrarrojo medio.

El uso de imágenes de satélite de resolución media como Landsat y Spot obedece a la facilidad de adquisición, periodicidad de las escenas, resolución espectral y la temporalidad que va desde principios de los años 80 a la actualidad.

Específicamente, las imágenes utilizadas son de Landsat 4, 5, 7 y 8; con resolución de 30 metros por pixel, con 7 a 11 bandas espectrales y disponibilidad desde 1983 al presente. Las imágenes Spot 4 y 5; con resoluciones de 20 a 10 metros por pixel, con 4 bandas espectrales incluyendo el infrarrojo medio y datan desde 1998.

### **PRE PROCESO**

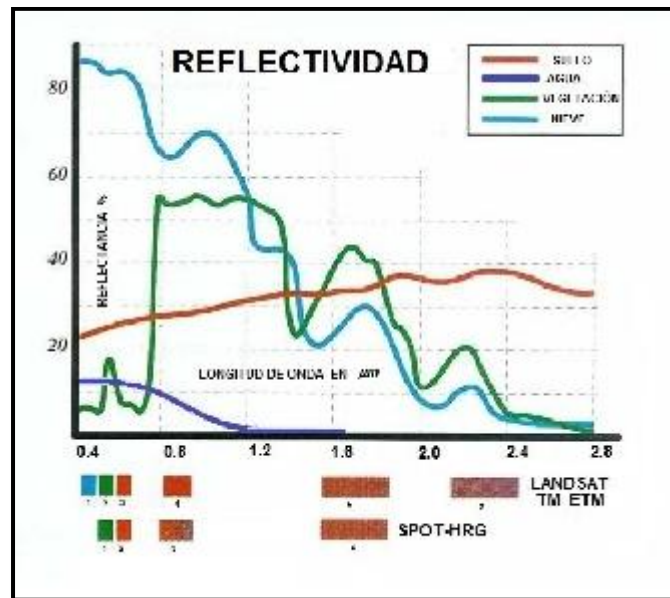
El software utilizado dentro de INEGI es el ArcGis con módulo de análisis espacial, se utiliza para todas las operaciones con raster y archivos vectoriales.

Las imágenes Landsat se obtienen del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) y cuentan con un procesamiento llamado nivel L1T, georreferenciadas con método de remuestreo de convolución, proyectadas en Universal Transversa de Mercator (UTM), con datum WGS84 (Sistema Geodésico Mundial 1984). También cuenta con corrección topográfica por desplazamiento debido al relieve.

La detección de cambio en la línea costera se obtiene mediante la comparación temporal de dos imágenes raster. El primer paso es seleccionar una misma escena que contenga el área de trabajo, de dos diferentes fechas, que difieran entre sí alrededor de 10 años o más, que no tenga nubosidad que obstruya la costa. El área es reducida a un buffer de algunos cientos de metros a cada lado de la línea costera; esto nos permite tener un mejor manejo de los datos y del procesamiento.

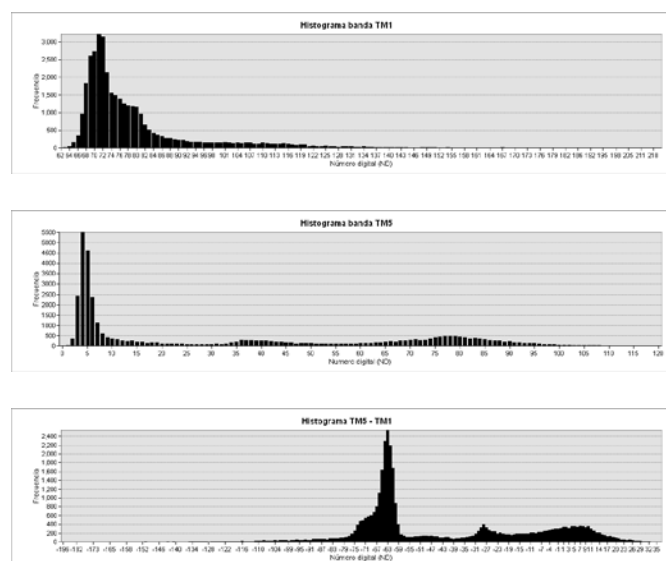
## EXTRACCIÓN DE POLÍGONOS EROSIÓN ACRECIÓN

El objetivo es separar los píxeles que corresponden a tierra de los que representan el agua, para este fin, se utilizan las bandas del azul, verde e infrarrojo medio. El agua tiene una alta reflectividad en las bandas del azul-verde y prácticamente nula o muy baja en el infrarrojo medio. Por el contrario, el material tierra es menos reflectivo en bandas azul-verde y alta en el infrarrojo medio (figura 2).



*Figura 2.* Firmas espectrales.

Para potenciar la diferencia entre los dos materiales se realiza una operación de sustracción entre las bandas del infrarrojo medio y la banda del azul. Esta operación nos permite obtener un histograma de frecuencias mejor definido que los de cada banda individual; (figura 3) con un comportamiento bimodal o muy cercano a ello, donde cada máximo pertenece a un material (agua o tierra).



*Figura 3.* Histogramas de frecuencia.

El siguiente paso es encontrar el valor umbral (1) que nos va a separar los dos materiales. Este valor es el de menor frecuencia que se encuentra en el valle entre los dos máximos del histograma.

Con el valor umbral se reclasifica el raster producto de la sustracción.

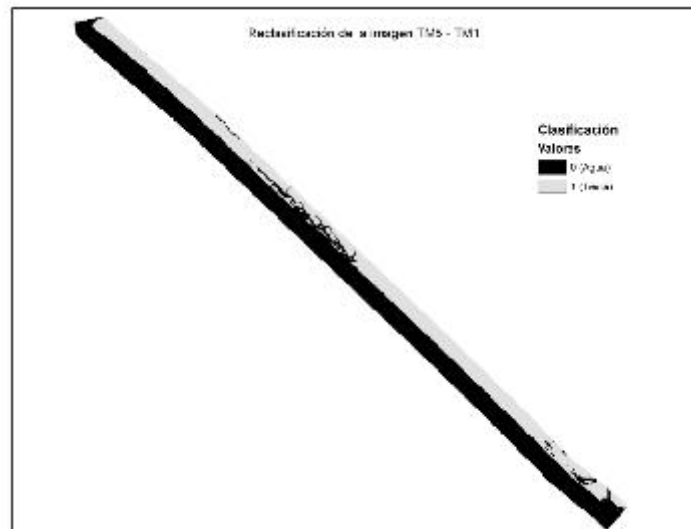
$$\mu = \text{Valor umbral}$$

$$f_{\mu}(x, y) = \begin{cases} 0, & f(x, y) \leq \mu \\ 1, & f(x, y) > \mu \end{cases} \quad (1)$$

Mediante esta clasificación obtenemos las dos imágenes binarias que representan las regiones agua-tierra de cada fecha.

El siguiente paso es convertir las imágenes binarias a archivos vectoriales de polígonos. El archivo contiene una tabla de atributos con un campo (gridcode) con valores 0 y 1 que identifica los polígonos que pertenecen a agua y a tierra.

Utilizando el módulo “geoprocessing” y la herramienta “Intersect”, al intersectar los polígonos de la imagen antigua con los de la imagen más reciente, se obtienen los polígonos de cambio en un período de tiempo, relacionando los campos que resultan al unirse las tablas de atributos de ambos vectoriales. Así tenemos que para un polígono que tenía valor 0 y después 1, se identifica como un polígono de acreción; si el valor era 1 y después es 0 es un polígono de erosión (figura 4); cuando ambos valores son iguales, no hay cambio.



**Figura 4.** Imagen Binaria.

Los polígonos de erosión se agrupan de acuerdo a la morfología, celdas y sub celdas costeras, para calcular su área y posteriormente obtener la tasa de erosión para cada zona mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa} = \text{área} / (\text{año 2} - \text{año 1}) \quad (2)$$

Cada zona se reclasifica en base a la condición de la playa y en rangos de tasa de erosión de acuerdo a los siguientes criterios:

Acreción: aumento en la depositación de sedimento.

Estable: valor < 250 m<sup>2</sup>/año.

Perceptible: 250 m<sup>2</sup>/año ≤ valor ≤ 500 m<sup>2</sup>/año.

Apreciable: 500 m<sup>2</sup>/año < valor ≤ 2500 m<sup>2</sup>/año.

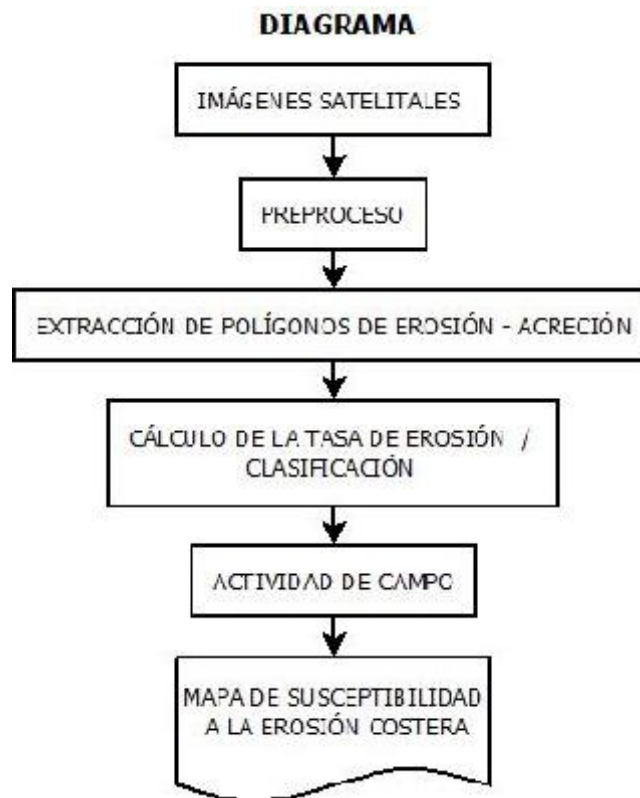
Aguda: 2500 m<sup>2</sup>/año < valor ≤ 5000 m<sup>2</sup>/año.

Intensa: valor > 5000 m<sup>2</sup>/año

### ACTIVIDADES DE CAMPO

Una vez obtenidos los polígonos de erosión se hace una selección y ubicación de sitios de información con base a la extensión del área y grado de erosión derivado del tratamiento digital de imágenes y obtención de datos como: localización georeferenciada, descripción general del sitio, levantamiento de perfiles, muestreo de sedimentos y caminamiento a lo largo de la playa por una distancia de 500 m a cada lado del sitio de información.

Integrada y analizada la información, tanto de gabinete como de campo se genera el archivo shape final, que será el mapa que se presentará con la información de la susceptibilidad del peligro de Erosión Costera (figura 5) del área de estudio con su tabla de atributos estructurada (establecida en el Diccionario de Datos del Fenómeno Erosión Costera), donde se podrán consultar datos concretos y simples del fenómeno conforme al diccionario de datos.



*Figura 5.* Diagrama de los pasos metodológicos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A la fecha se han publicado los Mapas de susceptibilidad a la erosión costera de los estados de Campeche, Tabasco y Yucatán en la página web de INEGI (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/geologia/default.aspx>).

Los estados de Quintana Roo, Veracruz y Chiapas se encuentran en proceso de publicación.

Para estos Estados se detectaron zonas de erosión a lo largo de sus costas, con diferentes niveles de erosión y longitudes de playa:

- Campeche: Perceptible 25.2 km (5.9%), Apreciable 77.1 km (18.1%), Aguda 31.3 km (7.4%), Intensa 50.8 km (12%); dando una longitud susceptible de erosión de 184.4 km que representa el 43.4% del total de costa en el estado



- Tabasco: Perceptible 3.476 km (1.74%), Apreciable 50.711 km (25.25%), Aguda 27.32 km (13.66%), Intensa 26.7 km (13.35%); dando una longitud susceptible de erosión de 108.216 km que representa el 54% del total de costa en el estado.
- Yucatán: Perceptible 26.9 km (7.9%), Apreciable 40.3 km (11.8%), Aguda 13.8 km (4%), Intensa 10.7 km (3.1%); dando una longitud susceptible de erosión total de 91.7 km que representa el 27% del total de costa en el estado.
- Quintana Roo: Perceptible 50.3 km (4.3%), Apreciable 107.0 km (9.0%), Aguda 12.2 km (1.0%), Intensa 5.0 km (0.4%); dando una longitud susceptible de erosión total de 174.5 km que representa el 14.7% del total de costa en el estado.
- Veracruz: Perceptible 41.1 km (5.7%), Apreciable 79.3 km (11.0%), Aguda 145.6 km (20.2%), Intensa 60.3 km (8.4%); dando una longitud susceptible de erosión de 720 km que representa el 45.3% del total de costa en el estado.
- Chiapas: Perceptible 3.8 km (1.4%), Apreciable 36.8 km (13.8%), Aguda 2.2 km (0.8%), Intensa 8.0 km (3.0%); dando una longitud susceptible de erosión de 50.8 km que representa el 19.0% del total de costa en el Estado.

#### 4. CONCLUSIONES

El amplio registro (1982- ) y periodicidad de las imágenes satelitales de resolución media como Landsat y Spot, permite detectar de manera indirecta cambios en la línea de costa ocurridos en áreas extensas, durante periodos de tiempo de por lo menos 10 años, dependiendo de la tasa de erosión. Las imágenes de alta resolución, donde se puede extraer la línea costera con una buena precisión, tienen un registro temporal muy reducido y en ocasiones no tienen un cubrimiento total de las áreas de trabajo.

El tratamiento digital de imágenes es muy útil para determinar áreas con cambios significativos en la línea de costa, sin embargo, el levantamiento de información en campo siempre será indispensable para la vinculación entre la interpretación a distancia y el terreno.

Para que se determine el peligro de erosión costera se deben tomar en cuenta los factores condicionantes (clima, mareas, vegetación) y detonantes (fenómenos naturales y antropogénicos) ya que estos se conjugan para minimizar o agravar el fenómeno.

La estabilidad de la línea de costa se encuentra en función de un equilibrio donde intervienen las distintas interacciones que existen entre el oleaje, las corrientes marinas, el transporte de sedimentos y finalmente, las acciones humanas.

Comprender a fondo los procesos costeros que originan la erosión de playas es trascendental para poder llevar a cabo esquemas eficientes de manejo costero, los cuales provoquen el mínimo daño colateral a la infraestructura costera y promuevan una estabilidad ecológica.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía): Metodología para la generación del Mapa de Susceptibilidad a la Erosión Costera, no publicada, 2012.
- [2] INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía): Diccionario de Datos de Fenómenos Geológicos escala 1:250 000, 2013.
- [3] I. Rodríguez: IX Congreso Nacional de Teledetección. Universidad de Lérida, España, 2001.
- [4] G. Winarso, S. Budhiman: Proc. 22nd. Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, 2001. Disponible en: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~acrs2001>
- [5] A. Alesheikh, A. Ghorbanali, N. Nouri: International Journal of Environmental Science and Technology. vol. 4 (1) 2007, pp. 8-15
- [6] S. Reis, H. M. Yilmaz: Hydrological Processes 65, 2008, pp. 303-1310.