



PROTOCOLO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGÉNES LANDSAT

DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA A PARTIR DEL
PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGÉNES LANDSAT

JORGE OLIVERA ACOSTA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA TROPICAL. CALLE 13 ESQ. F, VEDADO. LA HABANA



FUNDACIÓN
ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ
DE LA NATURALEZA Y EL HOMBRE

DCI - ENV / 2010 / 247 - 379



CCamBio
Cambio Climático y Biodiversidad
en Ecosistemas Frágiles de Cuba

Fundación Antonio Núñez Jiménez
de la Naturaleza y el Hombre
Calle 5ª B # 6611 / 66 y 70, Miramar
Tel: 209-2885, 204-2985

Fondo Mundial para la Naturaleza
WWF Programa Cuba
Calle 16 # 114 entre 1ra y 3ra. Miramar
Centro de Investigaciones Marinas

Protocolo

DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES LANDSAT

Fecha: Septiembre 2015



FUNDACIÓN
ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ
DE LA NATURALEZA Y EL HOMBRE

DCI - ENV / 2010 / 247 - 379



CCamBio
Cambio Climático y Biodiversidad
en Ecosistemas Frágiles de Cuba

Fundación Antonio Núñez Jiménez
de la Naturaleza y el Hombre
Calle 5ª B # 6611 / 66 y 70, Miramar
Tel: 209-2885, 204-2985

Fondo Mundial para la Naturaleza
WWF Programa Cuba
Calle 16 # 114 entre 1ra y 3ra. Miramar
Centro de Investigaciones Marinas

Documento de trabajo que presenta los criterios y procedimientos técnicos propuestos por el equipo de trabajo del proyecto “C.Cambio” perteneciente al Instituto de Geografía Tropical (IGT) y a la Fundación “Antonio Núñez Jiménez” (FANJ); para la **DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES LANDSAT**

El presente protocolo tiene como objetivo servir de guía metodológica para crear la línea base del monitoreo de la línea de costa, realizar estudios comparativos de los cambios en diferentes períodos, de su dinámica y procesos costeros; en las áreas del proyecto “C.Cambio” de forma semi-automatizada a partir de imágenes Landsat.

Equipo técnico

Jorge Olivera Acosta
Reinaldo Estrada Estrada
Gustavo Martín Morales
Alejandro Oliveros Pestana
Idalmis Almeida Martínez
Odalys Bouza
Miguel Ribot Guzmán

Estado del documento

Título	DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES LANDSAT	Código
Autor	Jorge Olivera Acosta	
Fecha de creación	Septiembre 2015	
Revisor		No. Revisión
Fecha de revisión		
No de pág.		Estado: No revisado



FUNDACIÓN
ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ
DE LA NATURALEZA Y EL HOMBRE

DCI - ENV / 2010 / 247 - 379

Contenido

I. Titulo	4
II. Introducción	4
III. Generalidades	5
IV. Parámetros de monitoreo	8
V. Selección de zonas de monitoreo	9
VI. Frecuencia de monitoreo	10
VII. Procedimiento	11
VIII. Referencia bibliográfica.....	20

I. TITULO

DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGÉNES LANDSAT

II. INTRODUCCIÓN

Todo trabajo que aborde como objeto de estudio la línea de costa, en primer lugar debe enfrentarse a la falta de definición de la misma. Cualquiera que sea el tipo de criterio que se aplique para delimitar esta franja costera, siempre se emplea como la línea de referencia, para su definición tierra adentro y mar adentro. Pero el concepto de línea de costa es un concepto irresoluble, que existe solo a partir del momento en el que es definida por unos criterios y una escala, y no antes.

La **línea de costa** es la línea en la superficie de la Tierra que define el límite entre el mar y la tierra firme. Históricamente ha sido uno de los principales elementos registrados por la Cartografía, debido al límite que la línea de costa ha representado para el desarrollo de las actividades humanas. (Tomado de Wikipedia 2014).

La línea de costa es a menudo un concepto ambiguo, existiendo varias causas de incertidumbre a la hora de definirla:

1. Mareas: el mar cubre extensiones variables dependiendo de la altura de la marea.
2. Límite incierto entre el mar y los ríos en las desembocaduras: el límite entre un río y el mar es incierto, por ejemplo, en estuarios o en deltas, donde tanto la profundidad del lecho del río como la composición de sus aguas son muy variables y se mezclan gradualmente en una región muy amplia.
3. La precisión utilizada en su determinación: dependiendo de la resolución que se quiera alcanzar en la determinación de la línea de costa, ésta puede ser más o menos abrupta. Este concepto determina diferencias importantes en la medida de la longitud de la línea de costa: si se mide la longitud de una costa con una resolución de 1 km se obtendrá un valor considerablemente menor que si se utiliza un mapa más detallado, con una resolución de unas decenas de metros. Esta propiedad de la línea de costa le confiere un carácter fractal.
4. Variaciones eustáticas del nivel del mar en escalas de tiempo geológicas.
5. Elevaciones del NMM debido al aumento de temperatura producto del cambio climático.

Para el presente protocolo se asumirá como línea de costa, a la línea determinada de forma semiautomática a partir de imágenes Landsat-OLI con fechas del 2014 que define el límite entre el mar y la tierra firme, en la superficie que ocupan las áreas protegidas PN Ciénaga de Zapata y PN Jardines de la Reina.

III. GENERALIDADES

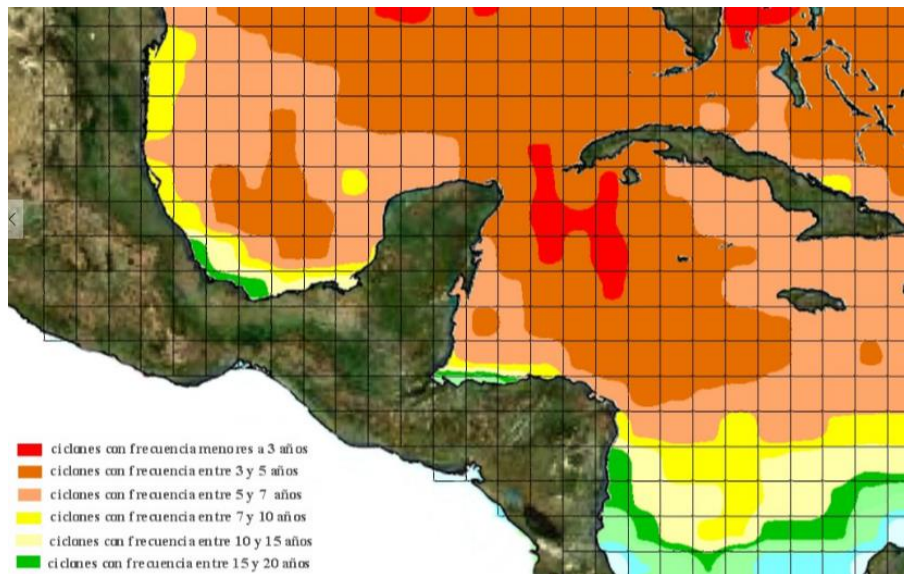
Para este protocolo se adoptó tomar como criterio para la delimitación cartográfica de la línea de costa, la máscara obtenida directamente del procesamiento digital de imágenes (PDI) del sensor Landsat 8 (OLI) considerando aquella línea de segmentos o área, que defina los bordes de los tramos costeros, entrantes de los ríos y zonas estuarinas de forma automática. El efecto de los cambios en los rangos maréales para nuestro caso se ha ignorado y no se incluyen correcciones por este aspecto.

Para establecer la frecuencia de monitoreo en este protocolo se tuvieron en cuenta varios factores y procesos que de ocurrir provocan cambios sustanciales y afectaciones en la línea costera para las regiones de estudios y pueden ser objetos de medición. Para la selección de los factores se tuvo en cuenta que los efectos provocados por los mismos en el tramo costero, tuvieran un carácter periódico o cíclico, además de que las modificaciones provocadas por determinados procesos durante un periodo, dieran cartográficamente diferencias por encima del error considerado (1 pixel) para las imágenes que se tomaron como base para estos análisis. La relación de estos factores considerados se muestra a continuación.

- 1- Frecuencia de eventos meteorológicos extremos que pueden modificar el sector costero por la ocurrencia continua o severa de estos fenómenos.
- 2- Procesos de erosión y acreción de los sedimentos en la zona costera producto a causas naturales y antrópicas, los cuales hacen referencia a la formación o destrucción de áreas litorales por acción de la dinámica marina.
- 3- Incremento del NMM por causa del cambio climático.

El factor de la frecuencia de eventos meteorológicos extremos se valoró a partir del estudio de la base de datos de ocurrencias de ciclones tropicales suministrada libremente por la (NOAA) disponible en www.nhc.noaa.gov, a esta base de datos se le realizó el procesamiento de las trayectorias más probables de estos eventos meteorológicos para la región del caribe (ver figura 1) y como resultado se obtuvo que históricamente para las áreas de interés del proyecto, la frecuencia de ciclones tropicales (Impactos del cambio climático sobre zonas costeras) era de un CT cada cinco o siete años. Esto establece a priori un periodo donde hay ausencia total de estos eventos y por ende las zonas costeras se ven poco afectadas por la ocurrencia de estos eventos meteorológicos. Teniendo en cuenta este análisis de eventos meteorológicos extremos, no se justifica una medición de los cambios en la línea costera en un periodo inferior a los siete años.

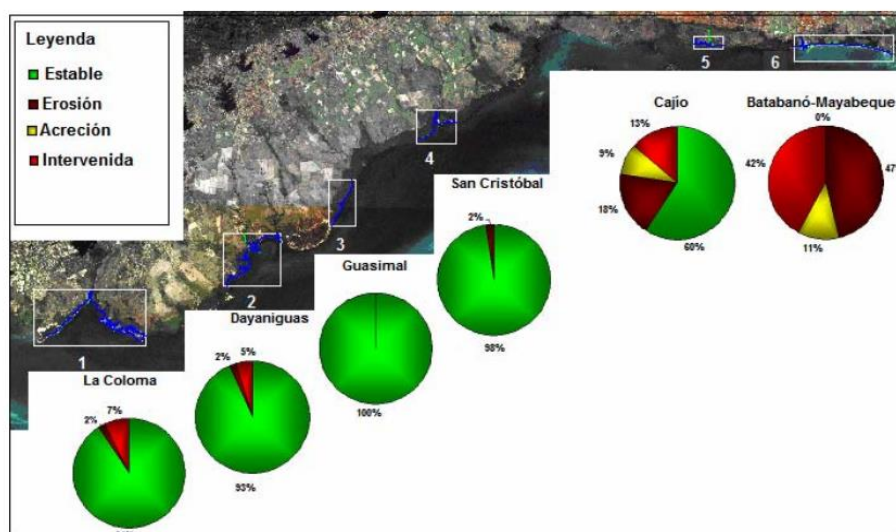
Figura 1- Frecuencia de ciclones tropicales en un periodo comprendido entre 1853 y 2010



Fuente: Elaborado por el autor pero no ahora (Falta Olivera. J. y Martínez D. 2011).

Realizando un análisis a los estudios de los procesos de erosión y acreción de los sedimentos en las zonas contiguas o cercanas a las áreas del proyecto (ver figura 2), se observa un incremento de los niveles de erosión costera producto a las acciones naturales y antrópicas, que en determinados sectores del litoral sur de las provincias habaneras puede ser de hasta tres metros anuales (Olivera y Campos, 2005; Carreras y Mato, 2005), de mantenerse este ritmo en los próximos 10 años se perderían aproximadamente 30 metros de línea costera, esto está alrededor del error máximo permisible (un pixel de error) para la delimitación de la línea de costa a partir de imágenes Landsat OLI (un pixel es igual a 30m, de resolución espacial). Teniendo en cuenta este aspecto no se justifica medir cambios en el sector de la línea de costa en un periodo inferior a los 10 años.

Figura 2- Procesos de erosión y acreción en la zona del Golfo de Batabanó.



Fuente: Hernández y Lorenzo, (2009) . Instituto de Oceanología.

Por último los estudios de mediciones directas del ascenso del nivel medio del mar (NMM), realizadas por Fernández y Piñero (2009), demuestran que la tasa de ascenso del nivel medio del mar, varía entre 0,005 y 0,214 cm/año en el archipiélago cubano y guarda una buena correspondencia con la tendencia estimada a partir de modelos globales de emisión de gases de efecto invernadero. Incrementos de este orden en una década estaría alrededor de los 5 a 21 cm, lo que sugiere un incremento bastante similar a los resultados esperados para el año 2030, donde se esperan modificaciones del sector costero.

Teniendo en cuenta lo anterior tenemos que los grandes cambios esperados con afectaciones directas por ascenso del nivel medio del mar debido al cambio climático se esperan para el año 2030 o sea dentro de 15 años.

La línea de costa obtenida mediante el procedimiento que aquí se establece, permitirá definir una línea base que se tomará como referencia para medir los cambios de los procesos costeros con fechas anteriores y proyectar cambios para el futuro en las regiones de estudio propuestas.

IV. PARÁMETROS DE MONITOREO

Como parámetros de monitoreo se seleccionaron la posición espacial de la línea de costa para fecha determinada, el área, el perímetro y los tipos de costas.

En este sentido los productos obtenidos se entregarán en formato vectorial georeferenciados soportados sobre un SIG, que representen el sector costero para tierra firme, cayos e islas. La base de datos contendrá los siguientes campos: *ID, sector, año, área, perímetro, tipos de costas*. Mapas cartográficos que representen visualmente la línea de costa.

Se entregará también en función de las necesidades, el segmento de línea de costa en formato vectorial soportado sobre un SIG, para el tramo costero con los campos siguientes: *ID, sector, año, perímetro*.

Para el caso que se determine una línea de costa con fecha diferente a la línea base, establecida para el año 2014, se entregará en formato de tabla como se muestra en la figura 3, los valores con las diferencias entre los parámetros de monitoreo seleccionados en el presente protocolo para los disímiles tramos costeros analizados.

Figura 3- Valores de los parámetros de monitoreo para los diferentes tramos costeros.

Nombre	Change	AreaChange	Area1_ha	Occurrences1	Area2_ha	Occurrences2	Area_Diff_ha	PerimeterChange	Perim1_km	Perim2_km	Perim_Diff_km
Línea de costa 2014	Area decrease	-12,61%	4.707,35	1	4.113,9	1	-593,445	19,71%	268,987	321,992	53,0047
Línea de costa 2005	Area increase	119,93%	494,817	1	1.088,26	1	593,445	27,11%	220,941	280,829	59,8888

V. SELECCIÓN DE ZONAS DE MONITOREO

Las zonas de monitoreo se corresponden con los límites de las áreas protegidas PN Ciénaga de Zapata y PN Jardines de la Reina (Ver figura).

Figura 4- Límites de la zona de monitoreo.

VI. FRECUENCIA DE MONITOREO

Tomando todos los criterios relacionados en la introducción de este protocolo proponemos una frecuencia para el monitoreo de cambios en la línea de costa para un periodo superior a los 10 años a partir del procesamiento digital de las imágenes Landsat. No obstante se propone monitorear la línea de costa para un periodo inferior, si ocurren eventos meteorológicos extremos de significación o acciones antrópicas relevantes para la región de estudio. También se propone emplear imágenes de mayor resolución espacial que permitan detectar cambios en las fluctuaciones de los procesos costeros a una frecuencia menor que puede ser interanual.

VII. PROCEDIMIENTO

El procedimiento para determinar la línea de costa consta de los aspectos siguientes:

1. Búsqueda y descarga de imágenes de satelitales desde internet.
2. Procesamiento de las imágenes.

VII.1- Búsqueda y descarga de imágenes satelitales

Las imágenes Landsat 8 empleadas para la determinación de la línea de costa serán consultadas y descargadas desde los sitios de acceso libre en internet siguientes: <http://glovis.usgs.gov/> y <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Ambos contienen los productos de Landsat 8, adquiridos desde el mes de abril de 2013. Es necesario aclarar que para la obtención de las imágenes en ambos sitios el personal encargado de la adquisición de las escenas debe estar registrado en el sitio con su login (nombre de usuario) y su password (palabra de paso).

La descarga de las imágenes desde el sitio earthexplorer se realizará de manera siguiente:

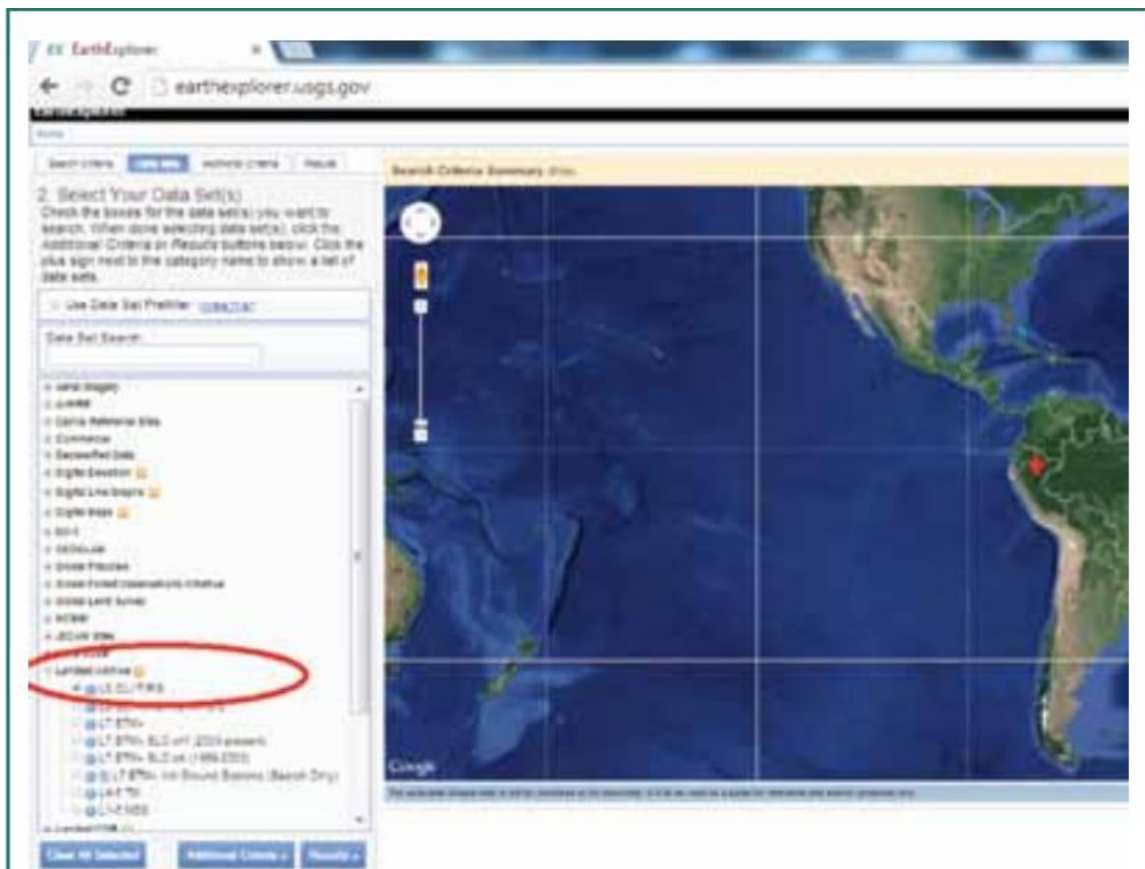
- 1- Acceda al sitio de descarga de las imágenes



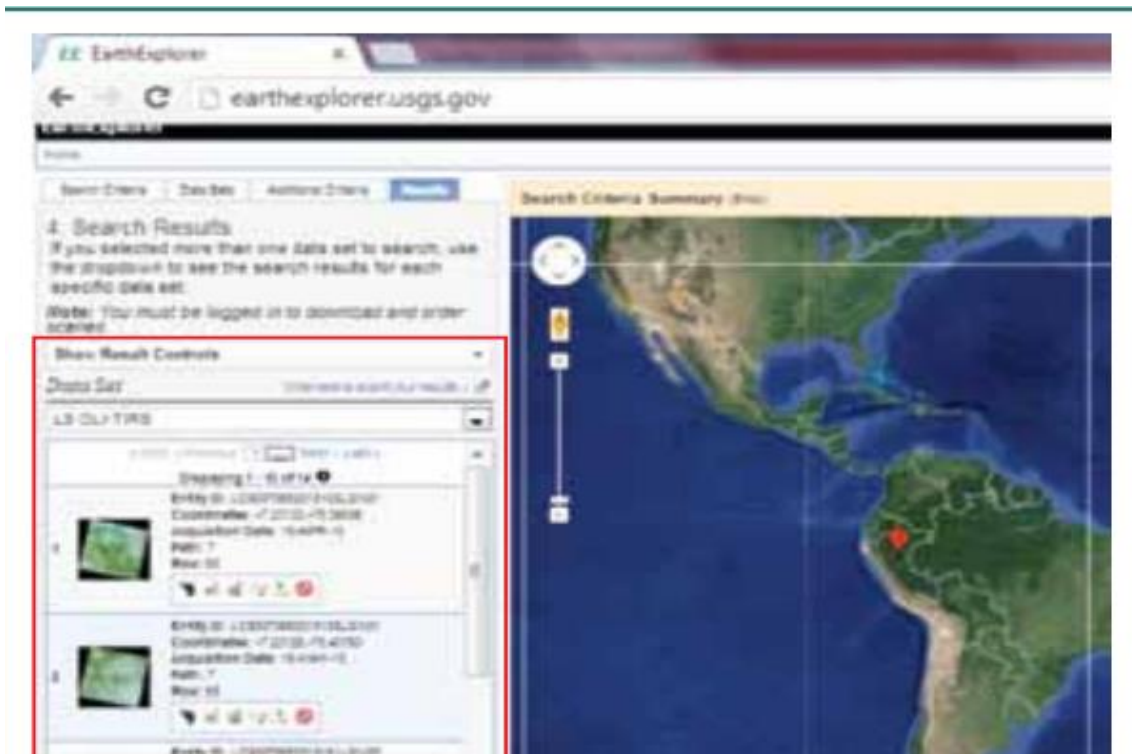
- 2- Lóguese y regístrese como usuario del sitio para que le permita descargar la escena.
- 3- Ingrese en la casilla correspondiente el Paht 015 el Row 044 y 045 para descargar las escenas que cubren el PN Ciénaga de Zapata y el Paht 013 el Row 045 y 046 para las escenas que cubren al PN Jardines de la Reina.



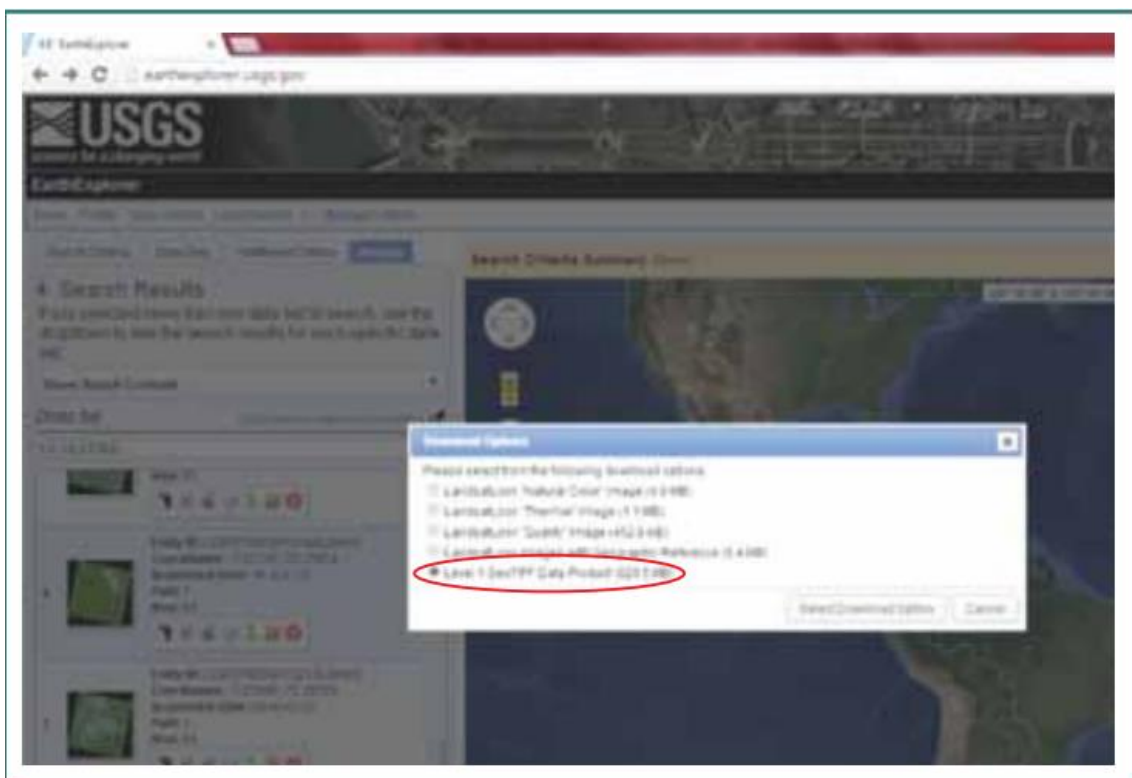
- 4- Seleccione los criterios de búsqueda con la opción (data set). En caso elegir (Landsat archive) y dentro de este marque la casilla (Landsat 8 OLI). Elija las fechas de descargas de las imágenes y la cantidad de escenas que va a descargar.



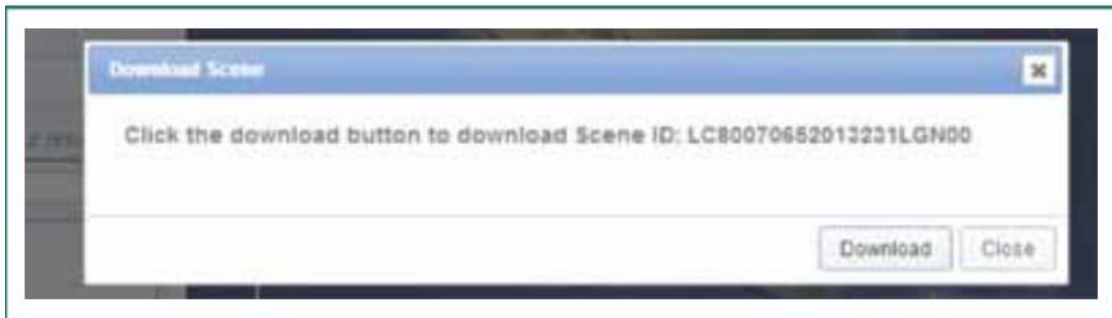
- 5- Seleccione las escenas con menores por ciento de cobertura nubosa (preferiblemente las que están por debajo del 10 % en la zona de estudio).



- 6- Seleccione el formato de descarga de la escena seleccionada.



7- Confirme la descarga de la escena seleccionada.



El fichero de descarga esta en formato compactado. tar, rar, o zip y el producto que lo contiene por bandas está en formato .tif. La descripción del producto bajado se muestra a continuación.

(e.g., LE70390372008210MOR00_sr_band1.tif)

LCX LC8 for Landsat 8 Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor
 LEX LE7 for Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus
 LTX LT4 for Landsat 4 Thematic Mapper; LT5 for Landsat 5 Thematic Mapper
 PPP Path
 RRR Row
 YYYY Year of Acquisition
 DDD Julian Date of Acquisition
 STN Receiving Station
 VR Version Number
 prod Product, such as "level1," "toa," or "sr"
 band Band, such as "band<1-7>," "qa," or spectral index.
 ext File format extension, such as "tif," "tfw," "xml," "hdf," "hdr," or "img"

VII.2- Procesamiento de las imágenes

1- Empaquetamiento de las bandas multiespectrales de la escena

Introduzca las bandas multiespectrales del sensor OLI en un software de procesamiento digital de imágenes y realice un empaquetamiento de las bandas (Staking Layer), este procedimiento se realiza cuando la imagen satelital se encuentra separada por bandas de tal modo que en un solo fichero se pueden desplegar todas las bandas y realizar diferentes combinaciones para diversas aplicaciones.

2- Selección de las bandas multiespectrales que logran una mejor separación de la frontera Tierra y Agua.

Existen publicaciones en la literatura especializada sobre el tema de composiciones multiespectrales para observar mejor la separación de la frontera tierra y agua, donde recomiendan el empleo de las bandas 5 (IRc)-R, 6 (SWIR 1)-G y 4 (Rojo)-B, (ESRI. Julio 2013), como las bandas que logran una separación de la frontera tierra agua, en nuestro caso por determinaciones empíricas hemos logrado mejores resultados para la delimitación de esta frontera, con la composición de bandas 7(SWIR 2)-R, 6 (SWIR 1)-G y 4 (Rojo)-B empleada para otros usos, siendo esta

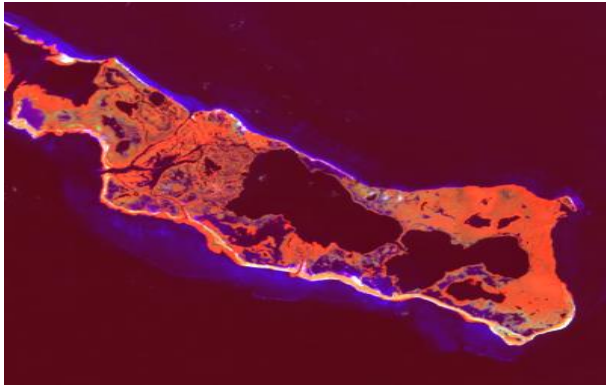
combinación recomendada en la literatura (**en cual? colocar referencia**) para destacar las zonas urbanas, además de ser esta composición muy similar a la empleada por el sensor ETM del Landsat-7, 7(IR medio)-R, 5 (IR medio)-G y 3 (Rojo)-B) para delimitar zonas inundadas, donde las tonalidades de las variaciones del azul claro representan aguas muy someras hasta el azul oscuro (aguas interiores y profundas).

Figura 5- Composición color verdadero R4 G3 B2 para Landsat 8.



Fuente: El autor.

Figura 6- Composición Falso color R5 G6 B4 para Landsat 8.



Fuente: El autor.

Para lograr una mejor separación de la frontera tierra-agua se utilizará la siguiente composición (falso color) R-G-B de las bandas multiespectrales (7-6-4) para Landsat-8, en niveles digitales (ND).

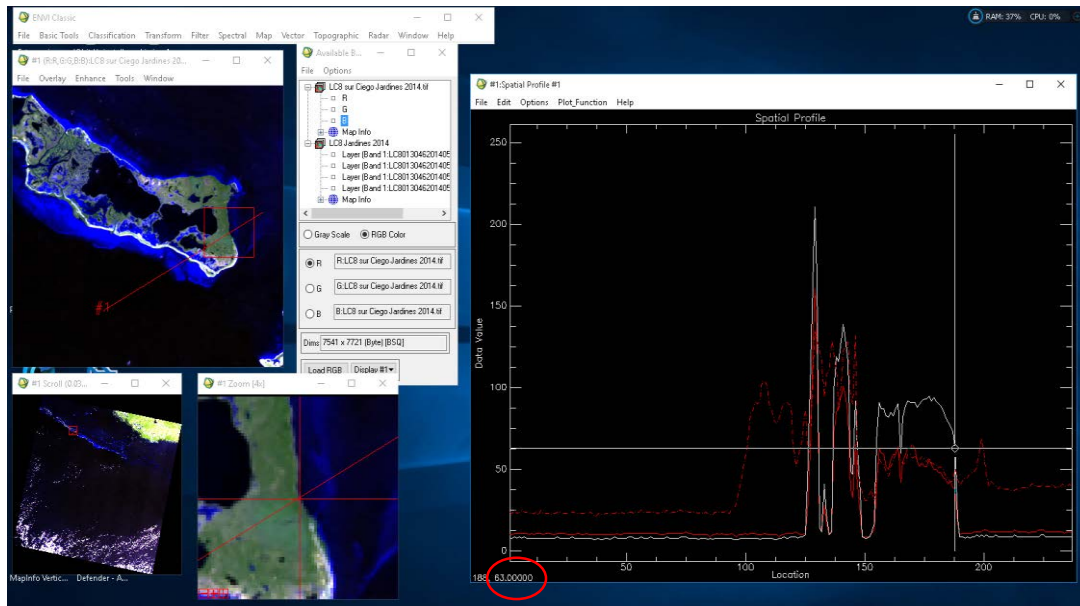
Figura 7- Composición Falso color R7 G6 B4 para Landsat 8.



Fuente: El autor.

- 3- Salvar la composición RGB lograda en formato Tiff con niveles digitales entre 0 y 255, lo cual facilita su posterior manejo y procesamiento con un software de PDI.
- 4- Cargar la imagen en formato Tiff en el software de PDI deseado y se trazan diferentes transeptos perpendiculares a la línea de costa, desde el mar hacia tierra adentro, con el objetivo de obtener en cada transepto la curva de respuesta espectral y ver cuál es el valor espectral en la zona de cambio definida por el contacto tierra-agua, visualizado en la ventana del Zoom del software.

Figura 8- Trazado de transeptos con ENVI 5.1

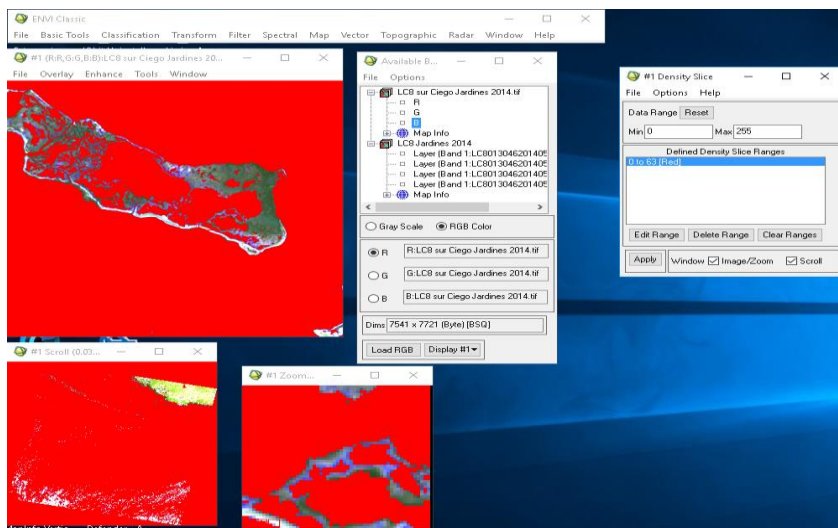


Fuente: El autor.

Seguidamente se distinguirá la ubicación del contacto tierra-agua, en la ventana del Zom del software, que para el ejemplo de la figura 8, está dado por la curva de color blanco (banda G) que es la curva que representa la mejor respuesta espectral entre el contacto tierra-agua y el valor espectral en la zona de contacto, el cual está representado por el círculo de color rojo donde alcanza un valor máximo en ND de 63. Este proceso se repite dentro de la imagen para diferentes perfiles perpendiculares al borde costero, anotándose los diferentes valores de respuesta espectral determinados en la zona de contacto tierra –agua.

- 5- Se toma el valor espectral de mayor frecuencia o se realiza un promedio y con este valor, se define un intervalo que representa una máscara (para la tierra o el agua) la cual permite diferenciar claramente el contacto entre estas superficies.

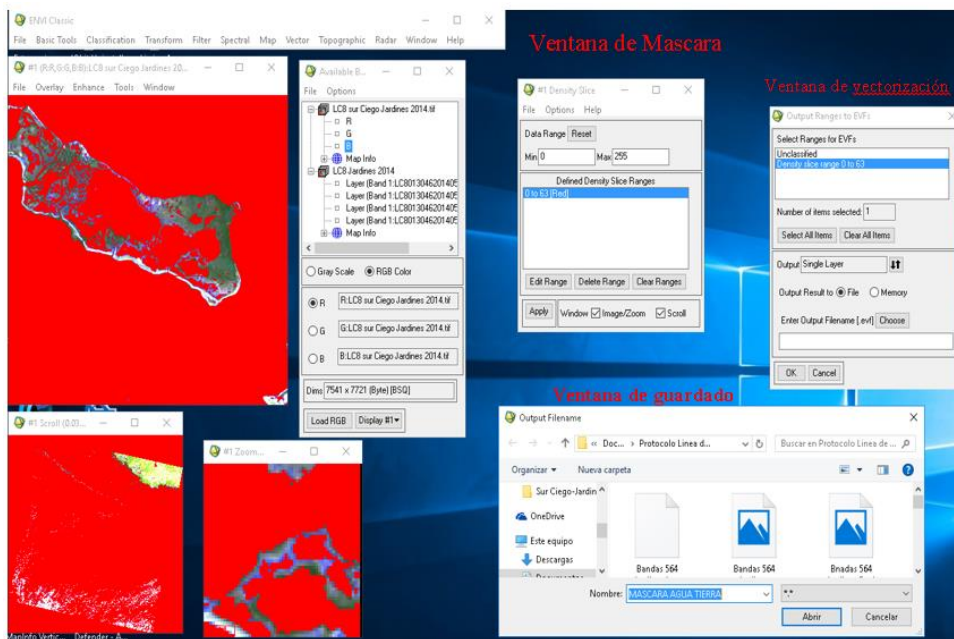
Figura 9- Creación de máscara a partir del valor espectral de mayor frecuencia.



Fuente. El autor.

- 6- Posteriormente la máscara obtenida se vectoriza y se pasa a un formato que sea compatible con cualquier Sistema de información Geográfico (SIG). (preferiblemente en formato con extensión .shp).

Figura 10- Vectorización de la máscara.



Fuente. El autor.

- 7- Suavización del segmento costero mediante la aplicación de un filtrado digital de la línea de costa obtenida vectorizada directamente desde el Raster.

Figura 11- Línea de costa suavizada.



Fuente. El autor

- 8- Filtrado digital

Para el filtrado digital se tendrá en cuenta la unidad mínima cartografiable, la cual se determina teniendo consideración la escala de trabajo y la de salida. En nuestro caso será la escala 1: 50 000 por lo que los objetos areales, (cayos e islas) que serán representados tendrán un área mayor a 0,5 hectáreas, tomando el criterio de Salitchev (4 x 4 mm).

Figura 12- Línea de costa filtrada digitalmente.



Fuente. El autor

- 9- Validación de la línea de costa obtenida mediante la superposición de esta, con imágenes de mayor resolución espacial. En caso de divergencias o diferencias sustanciales, la nueva línea de costa se rectifica y se corrige a partir de la imagen de mayor resolución espacial siempre y cuando las fechas de las imágenes estén comprendidas en un periodo de tiempo no superior al año y que no hayan ocurrido eventos extremos de carácter natural o antrópico que propicien una modificación de este segmento costero.

En la figura 13, se muestra en color rojo el trazado de la línea de costa obtenida con Landsat OLI sobrepuesta a una imagen google de 8 m/pixel de resolución espacial con fecha 2014; en la misma se puede observar que el error es inferior al Pixel (30m).

Figura 13- Validación de la línea de costa sobre una imagen de 2 m/pixel de resolución espacial.



Fuente: El autor, a partir de una imagen google tomada de SASPlanet. V. 12.1412.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Carreras, F. S., y Mato, E. (2005). *Proyecto de investigación: evaluación y manejo socioeconómico ambiental de la zona sur de la Habana, Cuba*. Paper presented at the Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina - 20 a 26 de março de 2005, Brasilpp.
- Fernández-Vila, L., y Piñero, R. (2009). Evidencias oceanográficas del cambio climático en las aguas marinas de Cuba. La Habana: IDO.
- Hernández, A. C., y Lorenzo, S. (2009). Caso de estudio No. 4. El cambio Climático y la interconexión tierra-mar en la costa SW de Cuba. Tramo costero desde la Coloma hasta Mayabeque. La Habana: IDO.
- Impactos del cambio climático sobre zonas costeras. from https://books.google.com/books?id=m7F1bi2tTnEC&pg=PA18&lpg=PA18&dq=escenarios+de+elevacion+del+mar+IPCC&source=bl&ots=a40dbOOCvJ&sig=dEcqIJOdFb_DkrsHmZpr1KGyHzg&hl=es&sa=X&ved=0CB0Q6AEwADgKahUKEwih4ta-nurHAhWBkA0KHUOWBul#v=onepage&q=escenarios%20de%20elevacion%20del%20mar%20IPCC&f=false
- IPCC. (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. y Miller, H. L. (Eds.), *Climate Change 2007*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- NOAA. (s/f). National Hurricane Center. GIS Data Set. Atlantic GIS, from <http://www.nhc.noaa.gov/gis-at.xml>
<http://coast.noaa.gov/hurricanes/?redirect=301ocm>
<ftp://satepsanone.nesdis.noaa.gov/GIS/GOESeast>
- Olivera, J., y Campos, M. (2005). Diagnóstico ambiental del municipio Artemisa. La Habana: IGA. Inédito.