

Decaimiento del manglar desde el 1993 al 2010 en el área de Los Morillos, Cabo Rojo; Puerto Rico.

Victor M. Vargas Lugo

**Calle Fortaleza #151 2do. Piso, San Juan, PR, 00902-0082
Correo Electrónico: victor.vargas2@upr.edu**

El bosque de Los Morillos es uno de los sistemas que pertenece al Bosque Estatal de Boquerón. Los Morillos se encuentra en una zona de roca caliza y es considerado un bosque seco tropical localizado al final de la carretera PR351 en Cabo Rojo, Puerto Rico. El principal hábitat ,en el boque, es la gran concentración mangles costeros, en especial el mangle rojo. Para el 1993, al noreste del bosque se encontraba un área pronunciada de mangles rojos debido a una siembra que realizó el DRNA. Para el 2003 se comienza a ver un decaimiento de los mangles en esta región y ha seguido aumentando a lo largo de las ultimas dos décadas. Para motivos de calcular la merma en las áreas del mangle, se utilizó el programa ENVI con la opción de ROIs. Estos ROIs fueron utilizados para discriminar las regiones de mangle seco y mangle vivo. Para validar estos datos se analizaron las imágenes bajo NDVI y se utilizó una mascara para delimitar sólo el área de mangle vivo. Con la imagen ya procesada, se utilizó programa ArcGis para solapar las imágenes y poder hacer una mejor discriminación de las regiones. El programa ENVI calcula el área cubierta bajo las ROIs y en base a estos datos se determinó el tiempo aproximado en que se extinguirán los mangles. Como resultado, se obtuvo que en aproximadamente 26 años ocurrirá la extinción total del mangle y la zona de manglar se ha reducido en un 30% aproximadamente en 17 años.

Palabras Claves: NDVI, Clasificaciones, ENVI, Regiones de Interés, manglar, Georeferenciación, Área, Bandas, Sensor.

INTRODUCCIÓN

El bosque estatal Los Morillos forma parte del BEB, quien está compuesto por 9 sistemas¹ distribuidos entre los municipios de Mayagüez, Cabo Rojo y Lajas. Este bosque se clasifica como bosque seco tropical y encuentra en una zona de caliza al sur de Puerto Rico (Pérez Languillo, 2010).

Los Morillos esta localizado exactamente al final de la PR 351, Cabo Rojo, Puerto Rico (figura 1). Este sistema comprende una península localizada al sur del mencionado municipio y está constituido por un ecosistema bastante sólido. Entre los hábitats que se encuentran en el bosque está la región de playa arenosas (Playa Sucia), mesetas, acantilados, salitrales, praderas submarinas, islotes y manglares costeros.

La mayoría de la vegetación del bosque consta de 4 especies de mangle; mangle rojo, mangle negro, mangle blanco y mangle botón. Pero el área de estudio para este proyecto esta constituido en su mayoría por mangle rojo. El área de estudio se encuentra en la sección noreste de la península ocupando una línea de costa de aproximadamente 230 metros y posee un canal de entrada al mar que alimenta al salitral.

El propósito de este trabajo es analizar mediante imágenes cambios en la flora, específicamente de los manglares en la región de interés mediante una comparativa histórica de relación tiempo y área. De está forma, determinar el tiempo aproximado de vida que le quedara al manglar en la región de estudio.

¹ Los manglares de Barrio Guanajibo de Mayagüez, Laguna de Joyuda, Puerto Real, Boquerón, Refugio de Aves, el Faro (Morillos), Pitahaya y Bahía Montalva.

Historia – DRNA

Para el año 1963 la cobertura del manglar en esta zona era bastante pronunciada e iba en asenso. No fue hasta el 1977 que se comienza a notar una reducción altamente significativa. Este evento ocurrió como consecuencia de un factor humano en el 1973 donde encayo el buque Zoe Colocotroni en la parguera y se derramaron 1.5 millones de crudo de petrole. Este evento causo estragos en la zona suroeste y por ende la alteración y decadencia de los ecosistemas. Debido a está perdida de manglares el DRNA decide entre el 1992 y comienzos del 1993 realizar una siembra de



Figura 1 Área de estudio al noreste del bosque.

manglar rojo en todo el sistema de Los Morillos. Luego de esta siembra se comienza a notar un crecimiento en la población del manglar bastante pronunciada en la parte noreste del bosque. Este ecosistema se mantuvo productivo durante varios años hasta finales del 1996 (Pérez Languillo, 2010). Para el 2003 se comienza a observar una reducción del manglar en el área oeste y los años subsiguientes la razón de decaimiento del mangle era más evidente. Debido al problema del aumento en la mortalidad de manglar rojo en los pasadas dos décadas el DRNA ha propuesto varias posibles causas:

- Un aumento en salinidad debido a que el canal de alimentación de agua se tapó.
- Residuos del evento de 1973 que aun estén afectando la zona;
- algunas festividades que han producido contaminantes y basura.
- Factores naturales – Georges 1998

La siembra sin embargo del mangle rojo en la parte noroestes del bosque se ha mantenido estable historicamente.

OBJETIVOS

Determinar la decadencia anual del mangle rojo en el área de Los Morillos en Cabo Rojo utilizando imágenes de satelites, fotografías aereas y ENVI. Al mismo tiempo se predijo el tiempo aproximado en que el mangle se puede extinguir en la zona.

METODOLOGÍA

EL área de estudio posee un tamaño aproximadamente de 54,176 m² y como se va a trabajar cen detalle con diferentes regiones dentro de el área, se requiere de imaganes con alta resolución. Mientras más alta la resolución, mayor detalle se podrá observar en la imagen, y por consiguiente mayor precisión tendrán los datos. Este detalle impone como requisito realizar una búsqueda de imágenes con una resolución de 1 metros o menos. Las imágenes que se utilizaron en el este proyecto fueron proveidas por el Dr. Gilbes Santaella y las fotografías aéreas adquiridas directamente del USGS². La foto más reciente fue obtenida de Google Earth debido a la ausencia en el web de imágenes tan recientes como 2010.

A continuación se mencionaran las imágenes y los sensores escogidos para este proyecto; en la mención se resaltará primero el año de la imagen, nombre del sensor y detalles adicionales asociados:

² <http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/>

- 1993 - Digital Orthophoto Quadrangle
 - Resolución de 1 m
 - Fotografía aérea y mapa a la vez.

- 2003 - IKONOS
 - Bandas RGB –NIR
 - Banda 1: Azul; 0.45 – 0.52 micrómetros
 - Banda 2: Verde: 0.51 – 0.60 micrómetros
 - Banda 3: Rojo: 0.63 – 0.70 micrómetros
 - Banda 4: NIR: 0.76 – 0.85 micrómetros
 - Resolución 1 m

- 2006 - Leica Airborne Digital Sensor (ADS40) – Sensor Head 29 & 45
 - ORTHOPHOTO PRODUCTION IN PUERTO RICO AND ADJACENT ISLANDS – U.S.A.C.E. Misión desde el 11/19/2006 al 2/17/2007.
 - Bandas: R.G.B. and R.G.NIR.
 - Resolución: 0.30 m

- Google Earth
 - Se extrajo del programa en formato jpg.
 - Georeferenciado con IKONOS

Ya obtenidas las imágenes, se comenzó el procesamiento de las imágenes utilizando el programa ENVI. El análisis de las imágenes se hizo de la siguiente manera:

1. Se produjo un Mosaico de cada una de las imágenes, exceptuando la fotografía de Google Earth que ya este programa crea un mosaico gigante de todo el planeta. Por lo tanto, se unieron las imágenes y las únicas dos que no estaban georeferenciadas eran del 1993 y 2010. Ambas imágenes fueron georeferenciadas para trabajar en el mismo sistema.
2. Las georeferenciaciones fueron hechas utilizando como imagen base la de Ikonos. En este proceso de georeferenciación se utilizó la rutina de imagen a imagen, tomando como base a IKONOS (2006). Para asegurar que las imágenes tuvieran una buena precisión al ser georeferenciadas se tomaron alrededor de 10 puntos de control entre ambas imágenes.
3. Cada imagen se cortó, utilizando la rutina de Basics Tools\ Resize Data, en el área de estudio para tener mayor enfoque y flexibilidad en la imagen.
4. Se utilizó la opción de *Vegetation Deliniation* para obtener los datos de vegetación existentes en el área de estudio. Hay que destacar que esta opción sólo se utilizaron en las imágenes del 2003 y 2006 debido a que poseían todas sus bandas requeridas (RGB y NIR). Como parte del análisis de la deliniación se sigue el siguiente procedimiento:
 - a. la opción de Dark Subtract donde le produce una corrección atmosférica a la imagen. Esta opción consiste en eliminar todos aquellos puntos oscuros de la imagen disminuyéndole así los valores digitales a la imagen.
 - b. transformación a NDVI para obtener el índice de vegetación del área de estudio y usar estos datos como referencia para delinear las áreas (figura 7). En esta tarea el programa requiere que se identifiquen las bandas rojas y del NIR. Luego de crear la imagen mediante el cálculo de NDVI, programado por la opción, el programa

requiere que se identifiquen las bandas del azul y la del verde. Como consecuencia de estos requerimientos creaba una imagen con regiones de interés que indica el stress en la región.

- c. crear regiones de interés que contribuyen como referencias a la cantidad de vegetación (esparcida, moderada o densa) y a su vez se pueden saber las áreas que estas ocupan en la imagen.
5. Crear regiones de interés delineando manualmente el área en la que se quiere trabajar. En este caso, dos grupos, uno de mangles vivos y otro de mangles muertos. La misma opción de región de interés tiene una sección donde se calcula el área en base a los píxeles, resolución y las unidades que se escojan. Para fines de este proyecto y como modo de leyenda, se le asignó el color rojo a todas aquellas áreas donde el mangle estuviera muerto o seco y el color verde a todas aquellas regiones donde el mangle o la vegetación estuviese verde.
 6. Una vez delimitadas las áreas, se generaron imágenes clasificadas de manera supervisada y no supervisadas. En la no supervisada se utilizó la rutina de *K-Means* ya que es la mejor que se pueden diferenciar los mangles vivos. Esta clasificación no supervisada se hizo en todas las imágenes pero, aquellas que el programa generó imágenes que no discriminaba con precisión el área de estudio, no se utilizaron. Para las que sí se utilizó se utilizaron 3 iteraciones y 10 clases para la clasificación. La clasificación supervisada que se utilizó fue la de *Minimum Distance*. Para esta clasificación se utilizaron de 5 a 6 regiones de interés; mangle seco, mangle vivo, mar, laguna, corales, camino.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tiempo 0 años

Se escogió el año 1993 como inicio histórico porque fue un año clave donde el DRNA hizo siembra de mangle rojo en la zona. A continuación se presentan fotografías aéreas identificando con un ROIs del área de estudio y a la misma vez calculando el área inicial.



Figura 2 DOQ 1993 Georeferenciada.



Figura 3 DOW 1993 ROIs (verde) Delimitando el área de estudio.

Esta imagen data del 11 de noviembre del 1993, en donde presenta un área abundante de manglar. El área de estudio está marcada de color verde en la Figura 3 y sólo resalta el área donde se identifica el mangle vivo. La resolución de esta imagen es de 1 metro y el área calculada bajo el ROI es de 54,172 m². Para propósitos de este proyecto, esta imagen equivale al tiempo cero de la data histórica.

Tiempo 10 años



Figura 4 IKONOS 2003 Delimitada con una ROIs, color rojo, en la región del mangle que está seco

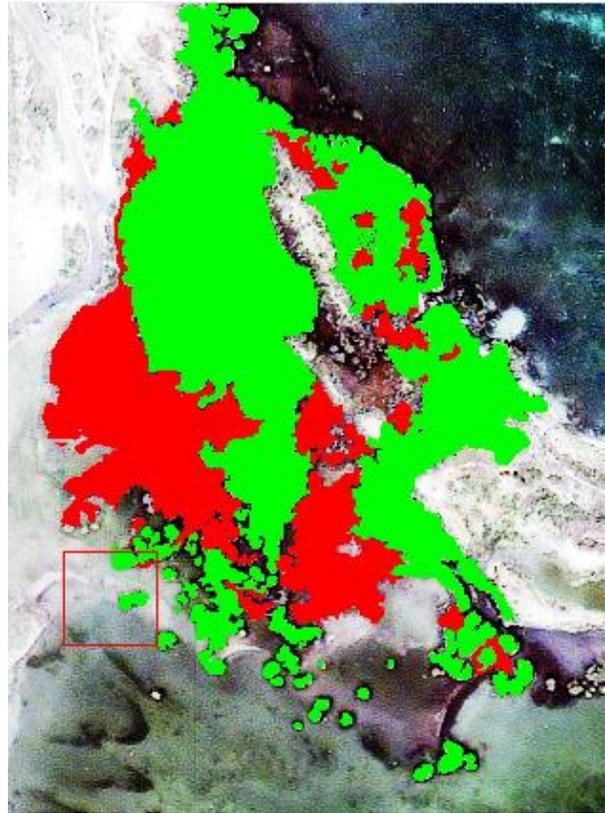


Figura 5 IKONOS 2003 Presenta el final de la delimitación con los ROIs. El color verde es el área del mangle que está vivo y el rojo el mangle seco.

Las imágenes de IKONOS muestran el proceso de obtener la delineación de los ROIs para obtener las áreas de cada uno. El resultado de las áreas bajo las regiones marcadas son : región viva (verde) $35,520 \text{ m}^2$ y la región seca (rojo) $17,252 \text{ m}^2$. Estos valores representan una pérdida de un 33% del área de mangles para ese año y un 32% para el área inicial sembrada en el 1993. Como IKONOS posee bandas en la región visible y en el NIR se puede determinar el índice de vegetación y comparar si el área delineada con los ROIs coincide con los valores del programa.

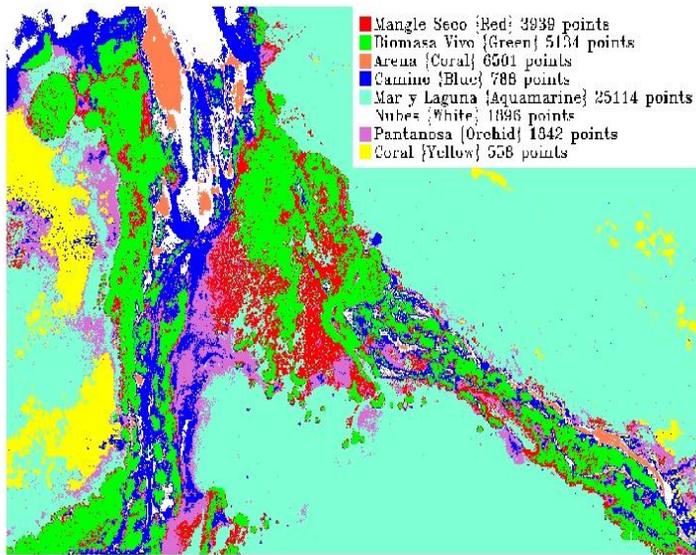


Figura 2 IKONOS clasificación supervisada

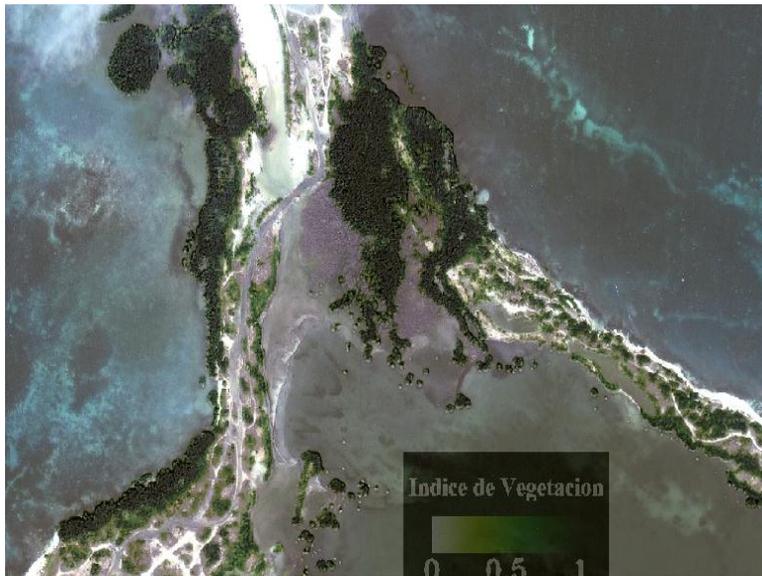


Figura 3 IKONOS 2003 - Índice de Vegetación obtenida por el proceso de NDVI. Esta imagen fue solapada con una imagen de color verdadero utilizando ArcGis. En color verde muestra el VI y en color marrón palido, en el fondo, aparece el mangle seco.

La figura 6 muestra la clasificación supervisada realizada a la imagen de Ikonos. En rojo se puede observar la distribución de mangle seco en el área de estudio y en color verde aparece la región de mangle vivo. Utilizando los ROIs y la tarea de la supervisión se puede decir que el área delimitada coincide con la Figura 5.

Otro dato importante es determinar el índice de vegetación. De esta manera se puede discriminar el área de manera visual. En la figura 7 presenta la imagen de Ikonos con el NDVI calculado y solapada con una imagen de color real mediante

ArcGIS. La imagen de color verde oscuro muestra las regiones de

mangle vivo pero, en el área de estudio se puede observar el contraste entre el mangle vivo y en el fondo la región donde se encuentra el mangle seco o muerto (región marrón pálido). Para lograr esta imagen se utilizó una máscara para eliminar efectos por el agua, que reflejaban igual que la vegetación.

Tiempo 13 años



Figura 8 Muestra una imagen de color real con el sensor ADS40.

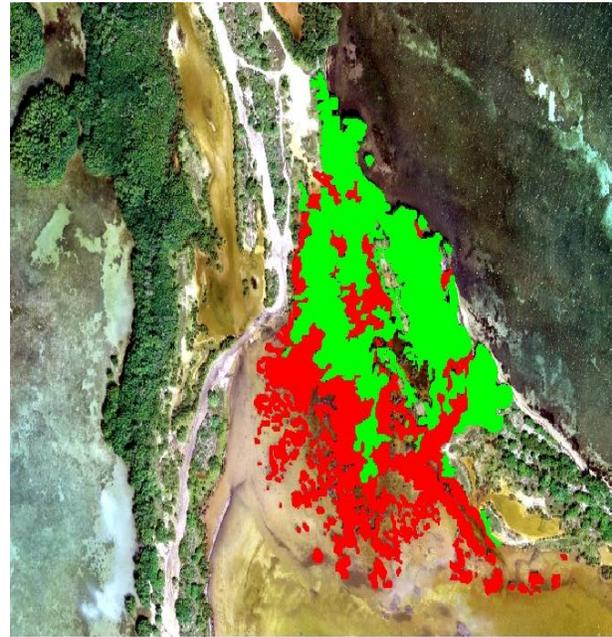


Figura 9 Muestra la misma imagen anterior pero con las áreas delimitadas. El color verde representa el mangle vivo y el color rojo representa el mangle seco.

La imagen del sensor ADS40 tiene una resolución de 0.30 metros originalmente. Esto equivale a que se tiene que preprocesar la imagen para obtener una imagen en orden de resolución de 1 metro . Para esto se sigue el siguiente procedimiento:

Basic Tools/Resize Data => Escojo la imagen a bajar o subir de resolución=> ok =>

Resize Data Parameters => en el área donde dice Output File Dimensions hay dos pasos:

1. *Cambiar los dígitos en xfac y yfac.* Para obtener los valores se hizo de la siguiente manera: $.30 \text{ m} = 1 \text{ m (x)}$. Por lo tanto el factor a entrar para igualarlo a 1 metro equivaldría a $.30\text{m}/1\text{m} = .30$. De esta manera en xfac y yfact obtendrías valores cercanos a 1 metro cuando hagas termines el procedimiento.
2. Una vez terminada la reducción o aumento, vuelvo al mismo lugar donde estramos los factores y como el valor de la resolución es cercana a la que buscamos pero, la resolución

la queremos exacta, oprimo el botón *Set Output Dims by Pixel Size* y en esta opción se escoge el valor de la resolución exacta que queremos. Al procesar la imagen nuevamente tenemos una nueva imagen a la resolución que queremos.

Este proceso discutido anteriormente es parte de la metodología pero, como sólo se aplicó a esta imagen, se decidió discutirla en los resultados.

Luego de todo este proceso, la figura 9 muestra las regiones de interés delimitadas para el estudio. La región verde representa el área del mangle vivo con un área de 23,837 m² y el área del mangle seco es de 22,165 m². Esta área de mangle seco representa un 48 % de pérdida del área del manglar para el año 2006

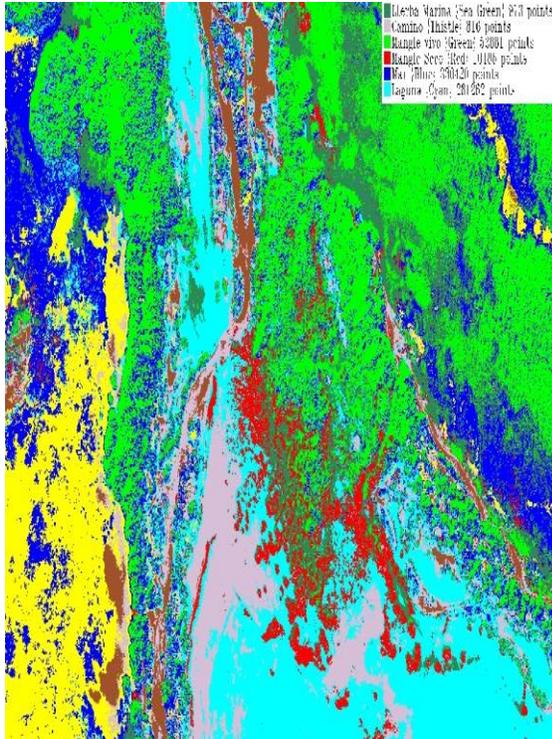


Figura 10 Imagen del sensor ADS 40 de una clasificacion supervisada.

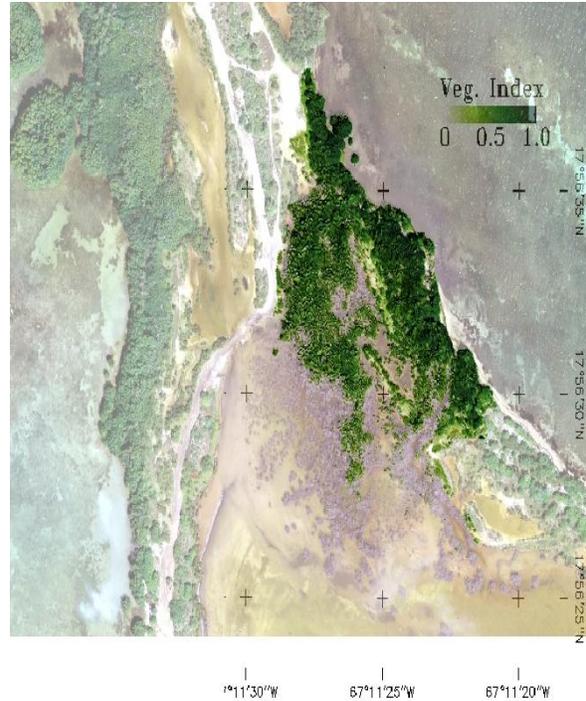


Figura 11 Imagen del sensor ADS40 con el indice de vegetación calculado y una mascara aplicada de región de interés para sobresaltar solamente el área de estudio. Esta imagen tambien esta solapada a una imagen de color real realizada en ArcGIS

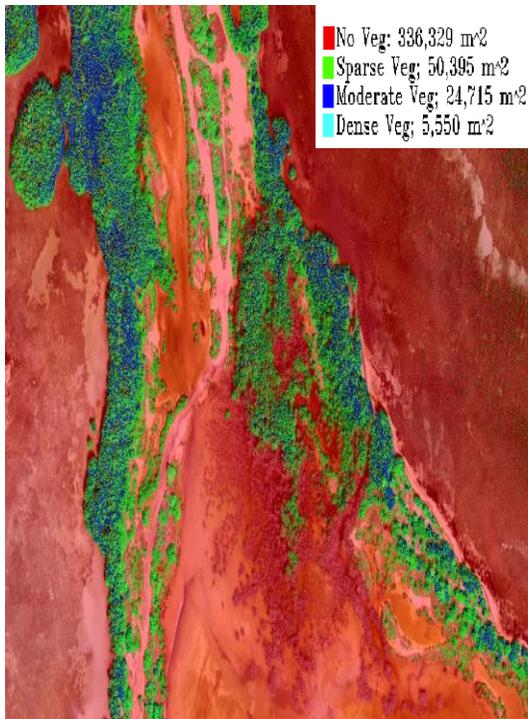


Figura 4 Imagen del area de estudio que pertenece al sensor ADS40. Esta imagen representa el indice de vegetacion del BEB y con ROIs para tener referencias de las áreas. La imagen está solapada con otra de color verdadero.

Para esta imagen de ADS40 se crearon varias versiones para validar las analizadas por los ROIs. La clasificación supervisada (figura 10) se realizó pero, no revela tanta información precisa del área de estudio como se esperaba. Las otras figuras presentadas (figura 11 y 12) son diferentes formas que se procesaron para visualizar el área de estudio e intentar de validar el trabajo inicial. Estas dos imágenes muestran un detalle bastante preciso del área y se puede discriminar entre el mangle vivo y el seco; esto se debe gracias al procesamiento con NDVI.

Tiempo 17 años



Figura 5 Google Earth 2010 - Delimitada con u ROIs, color rojo, en la región del mangle que está seco

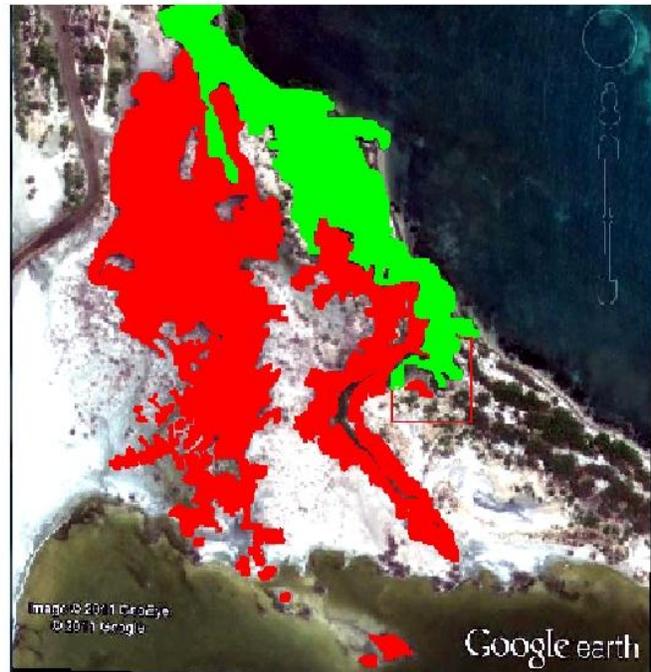


Figura 6 Google Earth 2010 Presenta el final de la delimitación con los ROIs. El color verde es el área del mangle que está vivo v el roio el mangle seco.

En estas imágenes se presentan la construcción de las áreas de interés donde se quiere trabajar. Se puede observar claramente como el área del manglar seco ha aumentado y el área total del manglar se ha reducido. Los datos obtenidos bajo las regiones de interés fluctúan en $12,332 \text{ m}^2$ para el mangle vivo y 25800 m^2 para el mangle seco. También se puede observar una reducción del área total del manglar de un $54,172 \text{ m}^2$ a $38,132 \text{ m}^2$. Por lo tanto esta disminución implica que el área se ha reducido un 30% en 17 años.

Para esta esta imagen también se trabajaron imágenes clasificadas tanto supervisadas como no supervisada. A continuación se podrá apreciar los cambios generados a la imagen real con las zonas de interés aplicadas automáticamente por el mismo .

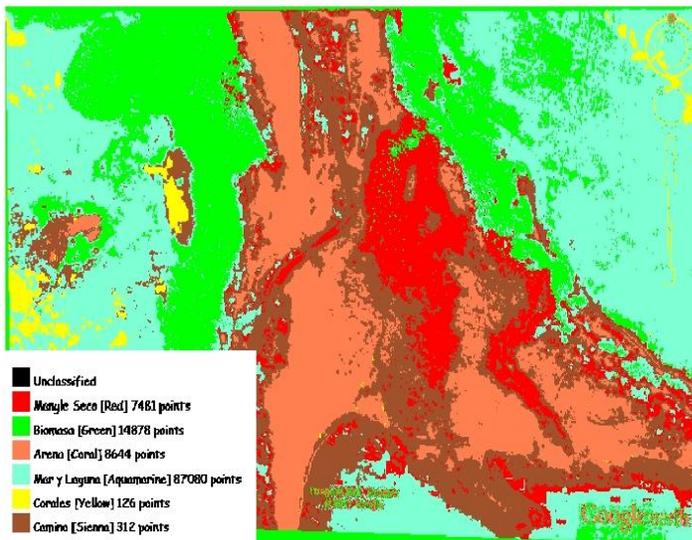


Figura 8 Google Earth 2010 - Clasificación Supervisada

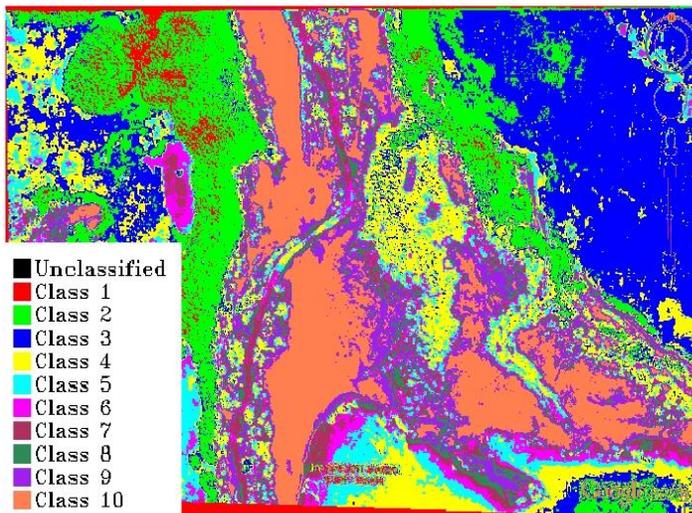


Figura 7 Google Earth 2010 - Clasificación no Supervisada K-Means.

Sólo por curiosidad se corrieron las clasificaciones en esta foto de Google Earth, para determinar que tan exacto podría quedar las fotos en la clasificación ya que no contienen ninguna información en largo de onda.

Ambas clasificaciones fueron bastante precisas detallando el área de estudio, inclusive en ambas se puede apreciar la región de mangle seco (rojo en la figura 15 y amarillo en la figura 16) y también en el área de mangle verde se puede observar con una buena precisión.

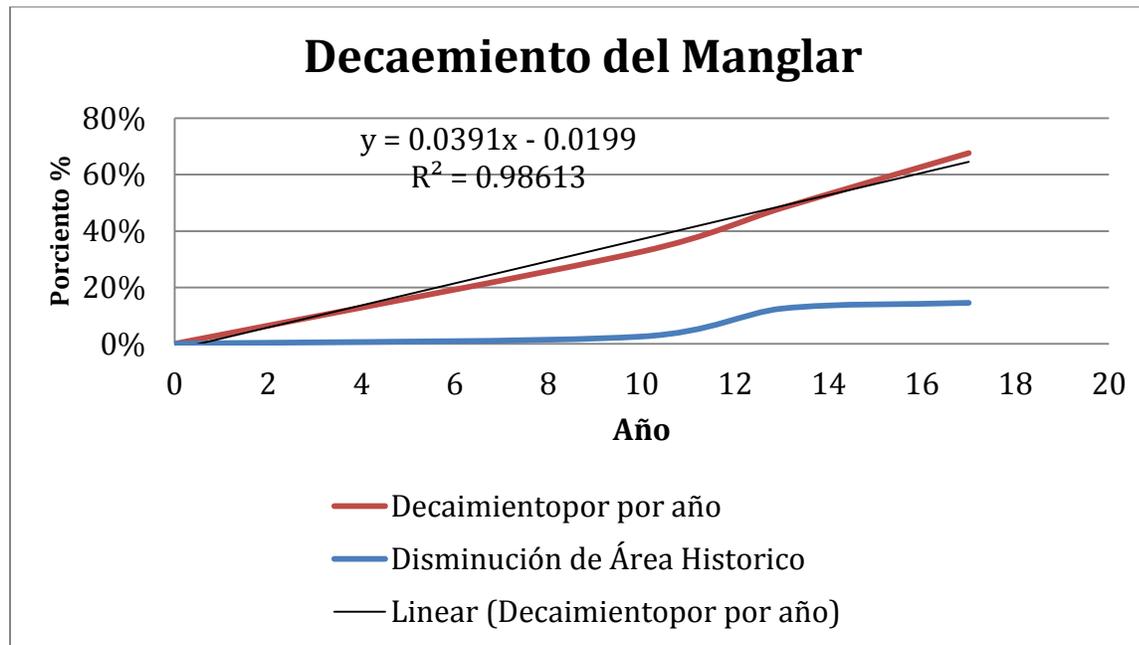
Resumen

Tabla 1 Recopilación de datos

Sensor	Año	Secuencia de años	Seco*	Vivo**	Área Total	Decaimiento acumulativo Por Año	Disminución de área por año
			m ²	m ²	m ²		
DOQ	1993	0	0	54172	54172	0%	0%
IKONOS	2003	10	17252	35520	52772	33%	3%
ADS40	2006	13	22165	23837	46002	48%	12%
Google Earth	2010	17	25800	12332	38132	68%	15%

* Área de mangle seco

** Área de mangle vivo



Gráfica 1 Visualización gráfica de los datos obtenidos median el proceso de percepción remota.

La tabla 1 muestra los datos obtenidos mediante el análisis de las imágenes utilizando ENVI. También expresa los porcentos de mangle seco acumulativos por año y la perdida del área de manglar por año.

La gráfica muestra una relación tiempo-área para el decaimiento del manglar acumulado y la pérdida de área de manglar por año. A la gráfica de decaimiento se le calculó una regresión lineal para obtener la relación existente entre tiempo y área. Esa regresión dictó la relación por la siguiente ecuación : $y = 0.0391x - 0.0199$. Las variables de la ecuación y representa el porcentaje de mortalidad en x años. Esta ecuación, tiene una confiabilidad de un 99%.

Para determinar la cantidad de años que tardará el mangle en extinguirse en el área de estudio, si y sólo si se mantienen las condiciones existentes y no sean alteradas, se considera un decaimiento de 100%. Sustituyendo en la ecuación antes mencionada con éste valor de y , se despeja para x y se obtiene aproximadamente la cantidad de años (x) que tardará en extinguirse:

$$y = 0.0391x - 0.0199$$

$$1 = 0.0391x - 0.0199$$

$$1.0199 = 0.0391x$$

$$x = 26 \text{ años}$$

RECOMENDACIONES

La percepción remota necesita de dos facetas muy importante, alguien con bastante experiencia en el procesamiento de imágenes y con suficiente experiencia para interpretación de las mismas. Por lo tanto, la interpretación de las imágenes y el enfoque depender del humano el factor de error está envuelto en todo el proceso.

Para obtener la aproximación del tiempo de extinción de los manglares, sólo se utilizaron 4 datos históricos de referencia. Para mejorar el proceso se deberían buscar imágenes adicionales en diferentes agencias y años anteriores que incluyan el área de interés. Si se obtienen estas imágenes se les realiza el mismo análisis y entonces obtener un número de datos con más precisión. También hay que tomar en cuenta que las imágenes deben tener una resolución cercana a 1 metro para de esta forma llevar un control sistemático de los datos.

Además el estudio de campo siempre es crucial para el desarrollo en este tipo de proyecto. También hacer un monitoreo periódicamente sería algo idóneo, para mantener la relación expuesta en este trabajo. De la misma manera, esto podría ayudar al DRNA o a cualquier otra institución a tomar acción sobre lo que está sucediendo.

CONCLUSIÓN

El decaimiento del manglar en el área de estudio es un evento que está ocurriendo y hasta ahora, nadie sabe con certeza el por qué. Lo cierto del caso es que hay muchas hipótesis y ningún remedio pero, según los datos de este trabajo revelan que en 26 años aproximadamente podría haber una pérdida total de los mangles en la región de estudio de Los Morillos. Esto afectaría por completo todo el ecosistema que se ha desarrollado en el área.

En cuanto al informe técnico, se desarrollaron varias técnicas para validar la obtención de datos. El solape de imágenes con el programa ArcGis en conjunto con las imágenes procesadas en ENVI fue una gran idea ya que ayudó mucho a determinar que tan precisa fue la discriminación de las regiones de mangles secos o muertos y aquellas regiones que el mangle aún seguía con vida. Con un poco más de experiencia, tiempo y conocimiento en ambos programas, el trabajo podría haber sido validado tanto en ENVI como en Arc GIS.

REFERENCIAS

Help, E. O. (12 de 8 de 2005). *Vegetation Index*. Retrieved 4 de 11 de 2011 from http://geol.hu/data/online_help/Vegetation_Indices.html#wp1138950

Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective* (2nd Edition ed.). (K. C. Clarke, Ed.) Upper Saddle River, NJ, United States: Prentice Hall Series in Geographic Information Science.

National Aeronautics and Space Administration. (29 de 9 de 2011). *The Landsat Program*. (L. Rocchio, Editor) Retrieved 8 de 10 de 2011 from <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

Pérez Languillo, O. (2010). *Evaluación del Manglar Del Noreste del Bosque Estatal Los Morillos, Cabo Rojo, Puerto Rico*. Cabo Rojo, PR: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

Sobrino, J. A., & Kerr, R. N. (200). *Teledetección*. Valencia, España: Universitat de Valencia.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. (12 de 7 de 2007). Orthophoto Production in Puerto Rico and Adjacent Islands . *Aerotriangulation Report* . St. Louis, Missouri, US.

Weaver , P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). *U.S. Fish and Wildlife Service Refuges And Other Nearby Reserves In Southwestern Puerto Rico*. U.S. Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior. San Juan, PR: International Institute of Tropical Forestry.