

RELACIÓN ENTRE NDVI Y CONTENIDO DE METALES EN RHIZOPHORA MANGLE EN EL SUROESTE DE PUERTO RICO

Marianela Mercado Burgos¹, Ricardo Vegailla²

¹Estudiante Graduado – Departamento de Geología

²Estudiante Graduado – Departamento de Ingeniería en Computadoras y Eléctrica
Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

Resumen

Los mangles son un importante elemento en los ecosistemas de humedales en Puerto Rico. Sirven como fuente de nutrición y hábitat para muchas especies; ayudan contra la erosión en las costas, mareas, tormentas y huracanes; y contribuyen con la producción de oxígeno y absorción de bióxido de carbono. La contaminación por metales ha tenido serias consecuencias tanto para el mangle en sí como para el ecosistema en el cual habita. En este trabajo exploramos el uso de técnicas de percepción remota para la identificación de metales en mangles. Nos enfocamos en la contaminación de cobre y níquel en la especie *Rhizophora* mangle en la laguna Joyuda en Cabo Rojo y en el área de Punta Ballena en Guánica en el suroeste de Puerto Rico. Basándonos en datos de campo colectadas en ambas áreas intentamos identificar un cambio en el NDVI de los mangles contaminados con metal por medio de imágenes IKONOS usando ENVI.

Palabras clave: Mangles, contaminación, metales pesados, percepción remota, índice de vegetación

Introducción

Mangles

Los mangles se encuentran en áreas bañadas de agua, suelos salados y costas tropicales y subtropicales. Están sujetos al flujo de las mareas y fluctuaciones del tiempo según la época. Se extiende desde la zona intertidal hasta la zona de mareas altas. Tienen raíces especializadas que les ayudan a excretar el exceso de sal así como también otras especializaciones que varían con la especie. Estos árboles proveen hábitat y sirven de criadero a muchas especies acuáticas. Estos ecosistemas son menos diversos en el Caribe comparado a otros lugares en Asia. Los mangles requieren regímenes de sal e hidrografía intacta sin los cuales su persistencia o restauración puede ser difícil o imposible. Alteraciones al sistema hidrográfico y al sustrato puede tener un impacto muy significativo.



Figura 1: Mangle Blanco (*Leguncularia racemosa*)



Figura 2: Mangle Botón (*Conocarpus erectus*)



Figura 3: Mangle Rojo (*Rhizophora mangle*)



Figura 4: Mangle Negro (*Avicennia germinans*)

Mangle Rojo

El mangle rojo es uno de las cuatro especies que se encuentran presentes en las áreas de estudio así como también en toda la isla. Las otras especies son el mangle blanco, el negro y el botón. Su distribución de acuerdo a su distancia desde la orilla del mar hacia es el que habita en la zona inundada por el agua por su gran tolerancia al ambiente salado. Sus raíces protuberantes suplen de aire y proveen soporte y estabilidad por encontrarse en al área mas directamente afectado por la energía del agua. Estas raíces superficiales poseen poros o lenticelas, que les permite incorporar nutrientes y realizar intercambio de gases. También atrapan fangos y arcillas que llegan con las mareas, de esa forma ayudan a rellenar y recobrar terreno la cantidad de suelo alrededor. El mangle rojo se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales de nuestro planeta extendiéndose unos 28°. Esta especie es usualmente la mas dominante de las cuatro. Los manglares tienen un alto valor ecológico y económico ya que

actúan como criaderos para muchos peces y mariscos. Muchos de estas especie nacen en ecosistemas cercanos como praderas de yerbas marinas o arrecifes de corales y sus larvas y juveniles se desarrollan bajo sus raíces Por lo que son fundamentales para el hombre ya que aseguran la sustentabilidad de la industria pesquera. Son importantes para la educación e investigación científica. Además son usados para la recreación pasiva y actividades turísticas. El impacto del ser humano en estos ecosistemas no es algo nuevo. Aun conociendo todos los beneficios el 75% de los mangles han sido destruidos y los que quedan están en peligro de desaparecer. Muchas de las actividades hechas por el hombre desde tiempos inmemoriales han afectado al manglar en diferentes formas. Podemos mencionar algunas de ellas. Alteraciones en los cauces de los ríos, dragados, descargas industriales y uso de abono y plaguicidas en lugares aledaños han contaminado y alterado los patrones de flujo, reciclaje de nutrientes, deposición y transportación de sedimentos.

Investigaciones científicas han encontrado que la vegetación reacciona a condiciones geoquímicas del sustrato y esto se ha utilizado en técnicas de percepción remota para a la exploración minera donde grandes áreas pueden ser muestreadas eficientemente sin estudios costosos de campo (Goetz et al., 1983). El espectro típico de la reflectancia de la vegetación se puede dividir en tres regiones: de 0.4 a 0.69 μm predomina la absorción de los pigmentos de la planta, de 0.76 a 1.0 μm domina la absorción relacionada a la biomasa de la planta y la estructura, y de 1.35 a 2.50 μm domina la reflectancia de la absorción de agua en las hojas (Goetz et al., 1983). La vegetación responde de diferentes formas a condiciones geoquímicas no normales del sustrato, puede mostrar una respuesta taxonómica, una repuesta estructural, y una espectral (Mouat, 1982; Milton & Mouat, 1989). La espectral comprende todos los efectos

de las otras respuestas mencionadas en las características ópticas de la vegetación. Labovitz et al. (1983) demostró que el contenido de metal en el suelo cambia la reflectancia de la hoja, especialmente en aquellas partes del espectro donde ocurre la absorción por la clorofila y el agua, y la variación de estos elementos estuvo asociada con la reflectancia de las hojas. Estudios preliminares han mostrado que los metales son incorporados por las raíces del mangle rojo (Montgomery and Price, 1979). Un estudio por Acevedo et al. (2000) mostró contaminación de concentraciones de sedimentos en la Laguna San José que excedían los parámetros de seguridad para mercurio, plomo y zinc, mientras que las concentraciones de metales pesados (As, Cd, Cu, Hg, Pb, Se, Zn) en la laguna Joyuda fueron mínimos. Un estudio preliminar sub-graduado mostró que las concentraciones de Ni y Cu en las hojas del mangle rojo fue significativamente mayor en la laguna Joyuda (Rodríguez-Román, sin publicar 2005). La contaminación reportada en la Laguna San José y en la Bahía de Guayanilla, y la sospecha de contaminación natural por metales pesados de la laguna Joyuda, concuerda con la poca diversidad de especies de plantas presentes en estos humedales, y el hecho de que los manglares incorporan metales, ha abierto la posibilidad para probar técnicas de percepción remota para probar su habilidad de detectar contaminación por metales.

Materiales y Métodos

Para este trabajo utilizamos dos áreas de interés: La primera área, Laguna Joyuda en Cabo Rojo, identificada como un lugar con contaminaciones naturales de Cobre y Níquel basados en los resultados de una investigación sub-graduada (Rodríguez-Román, sin publicar 2005). Por otro lado, el área de Punta Ballena en Guánica ha sido reportada como un lugar libre o con muy

poca contaminación de metales. Para este trabajo, seleccionamos utilizar imágenes multiespectrales del sensor IKONOS. En la **Tabla 1** podemos ver la descripción de las bandas disponibles en el sensor IKONOS. La **Tabla 3** y **Tabla 4** presentan los valores de NDVI para ambas aéreas de interés, obtenidos como parte de un trabajo de campo realizado previamente. Teniendo estas imágenes y datos, y queriendo aplicar técnicas de percepción remota es que entonces utilizamos el índice de vegetación (NDVI) para encontrar respuestas que nos indique diferencias que puedan ser detectables entre estas dos áreas. Para este análisis utilizamos imágenes del sensor IKONOS de ambos lugares. El método a seguir era el siguiente:

1. Ubicar ambas aéreas de estudio en las imágenes de IKONOS.
2. Realizar corrección atmosférica, y calcular NDVI para ambas regiones.
3. Utilizar datos previos para identificar región de interés en ambas aéreas.
4. Comparar valores de NDVI para las regiones de interés en ambas aéreas.

Bandas	Resolución Espacial	Resolución Espectral
1 (Azul)	4 m	0.445 - 0.516 μm
2 (Verde)	4 m	0.506 - 0.595 μm
3 (Rojo)	4 m	0.632 - 0.698 μm
4 (Infrarrojo cercano)	4 m	0.757 - 0.853 μm
Pancromática	1 m	0.450 - 0.900 μm

Tabla 1. Resolución espacial y espectral para cada banda en el sensor IKONOS.

Punto	Tipo de mangle	NDVI
1	Rojo	error
2	Rojo	error
3	Negro	error
4	Rojo	0.75

Tabla 2. Dato previos de NDVI de Joyuda, Cabo Rojo.

Punto	Tipo de mangle	NDVI
1	Black	0.69
2	Negro	0.66
3	Negro	0.54
4	Negro	0.70
5	Rojo	0.71
6	Rojo	0.73

Tabla 3. Dato previos de NDVI de Punta Ballena, Guanica.

Resultados y Discusión

Las imágenes obtenidas de IKONOS estaban organizadas en una serie de imágenes de formato GeoTIFF. Primeramente creamos un mosaico de ambas regiones de estudio. Luego aplicamos la herramienta de “subset” para escoger el área de interés. Las imágenes resultante para el área de Joyuda esta presentada en la **Figura 5**, y la imagen resultante para el área de Punta Ballena esta presentada en la **Figura 6**.



Figura 6. Joyuda, Cabo Rojo



Figura 5. Punta Ballena, Guanica

Una vez tuvimos el área de interés proseguimos a aplicarle la técnica de NDVI utilizando ENVI.

Las **Figuras 7 y Figura 8** presentan las imágenes de NDVI resultantes para ambas aéreas de interés.

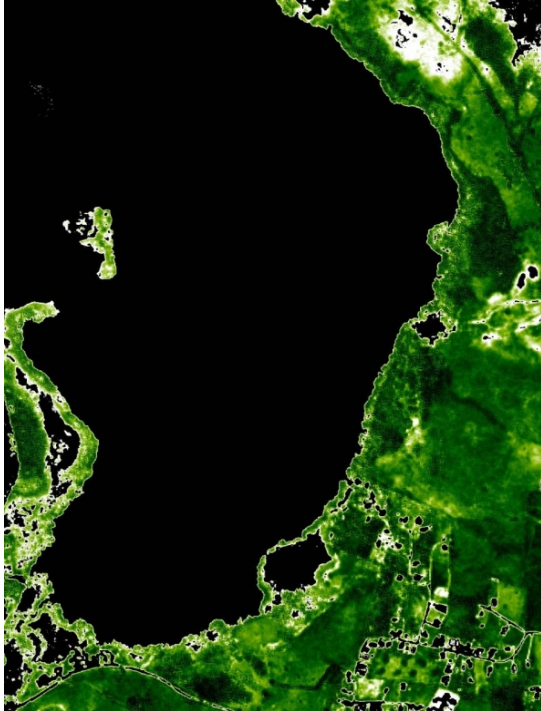


Figura 6. Imagen de NDVI de Joyuda, Cabo Rojo



Figura 7. Imagen de NDVI de Punta Ballena, Gaunica.

Con el propósito de seleccionar las regiones de interés utilizando los datos previos de NDVI con los valores de NDVI generados utilizando las imágenes de IKONOS, procedimos a localizar los datos previos en las imágenes de NDVI generadas. En la **Figura 9 y Figura 10** podemos observar la localización de los puntos sobre las imágenes correspondientes de NDVI.

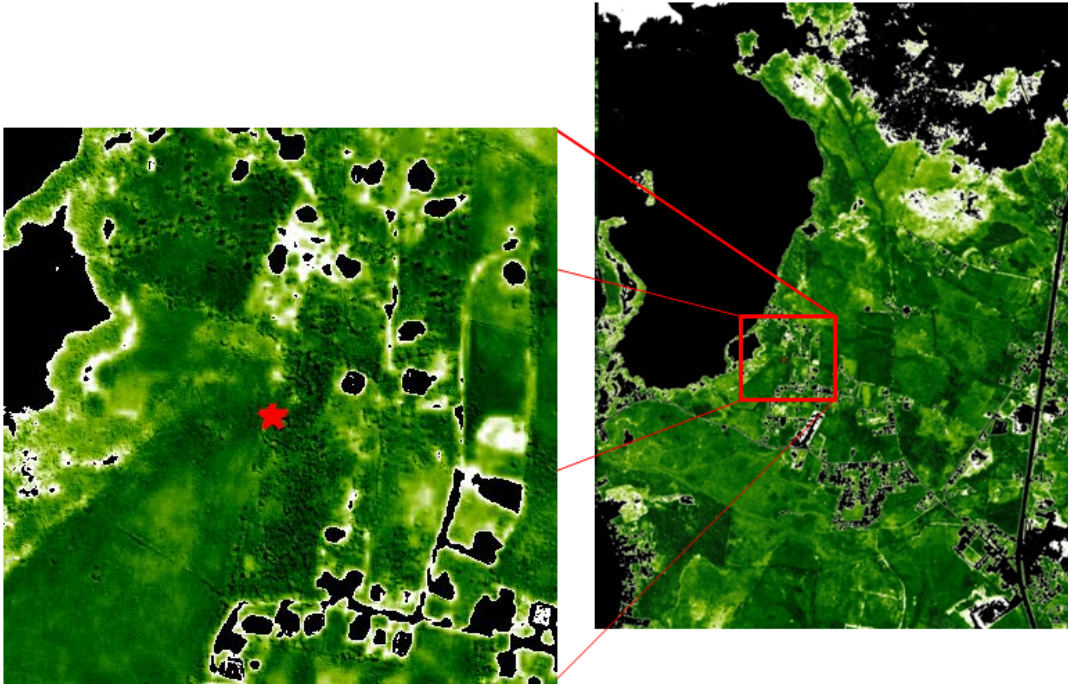


Figura 9. Ubicación de datos previos de NDVI de Joyuda, Cabo Rojo.

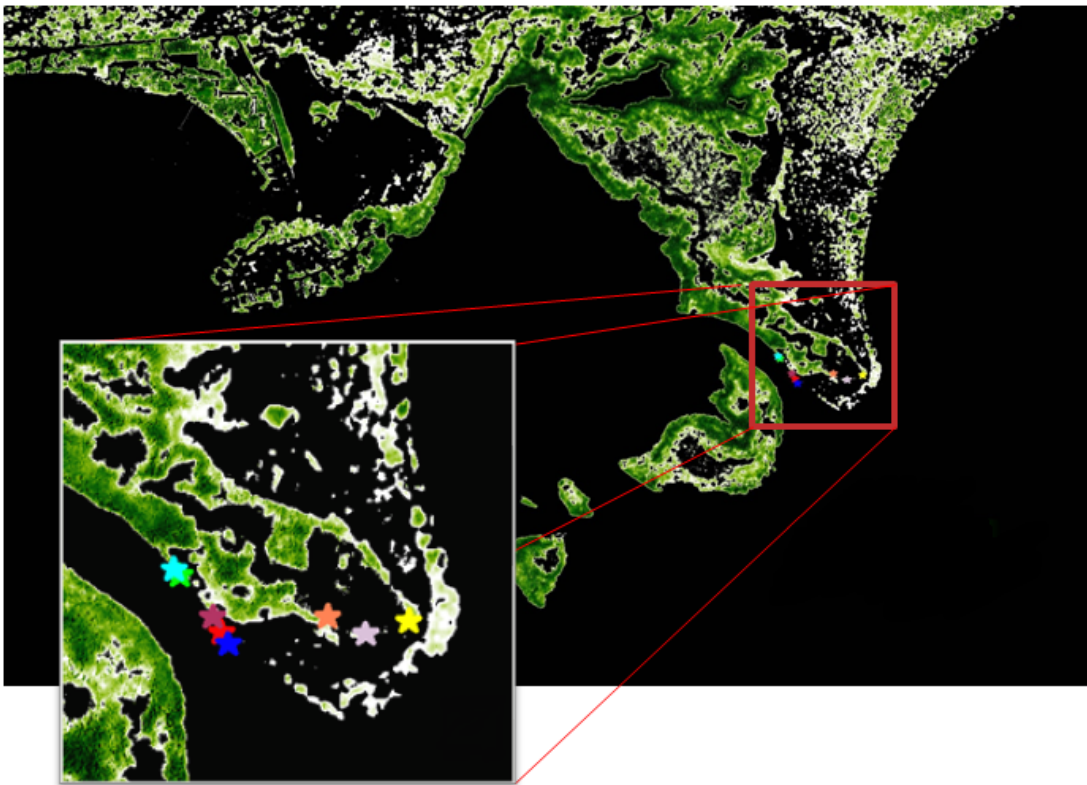


Figura 10. Ubicación de datos previos de NDVI de Punta Ballena, Guanica.

Basado en observación visual, llegamos a la determinación de que podía existir un problema de georeferenciación entre los datos previos y las imágenes de IKONOS. Luego de corroborar la referenciación de las imágenes de IKONOS utilizando Google Earth y ArcView, entendimos que no podíamos tomar la referenciación de los datos previos como correctos. En adición, los valores previos de NDVI fueron calculados utilizando las bandas roja e infrarroja del sensor AVHRR. La **Tabla 4** describe las bandas roja e infrarroja para el sensor IKONOS. De manera similar, la **Tabla 5** muestra las bandas roja e infrarroja para el sensor AVHRR.

IKONOS	Centro	Ancho
0.632 - 0.698 (μm)	0.665	0.066
0.757 - 0.853 (μm)	0.805	0.096

Tabla 4. Descripción de las banda Roja e Infrarroja para el sensor IKONOS.

AVHRR	Centro	Ancho
0.58 - 0.68 (μm)	0.63	0.1
0.70 - 1.00 (μm)	0.85	0.3

Tabla 5. Descripción de las banda Roja e Infrarroja para el sensor AVHRR.

Debido a la discrepancia observada entre el centro y el ancho de dichas bandas para el sensor IKONOS y el sensor AVHRR, no es posible comprar dichos valores. Como estrategia alterna, decidimos seleccionar las regiones de interés utilizando las siguientes guías.

1. Identificar visualmente las regiones de interés en ambas imágenes.

2. Seleccionar muestras de NDVI de dichas regiones.
3. Generar una máscara de NDVI basada en las muestras seleccionadas manualmente
4. Aplicar la máscara a la imagen de NDVI para identificar la región de interés a ser usada para la comparación de NDVI entre ambas aéreas de estudio.

Utilizando el conocimiento previo de que la especie de mangle de interés (mangle rojo) crece en la orilla de los cuerpos de agua, identificamos los píxeles más representativos de mangle en dichas aéreas. Basado en los valores de dichos píxeles creamos una máscara de NDVI. La **Figura 11** y **Figura 12** ilustran la imagen de NDVI filtrada con la máscara correspondiente a cada imagen.

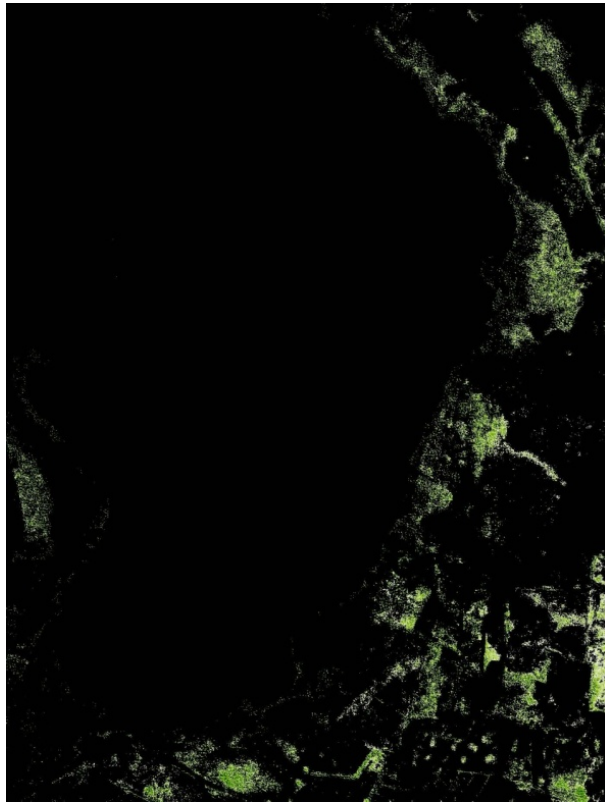


Figura 11. Filtrado de NDVI de Joyuda, Cabo Rojo.

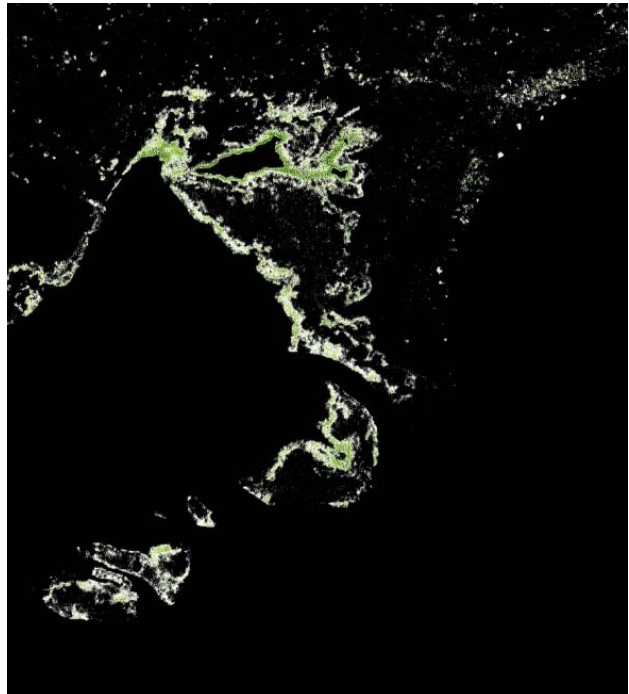


Figura 12. Filtrado de NDVI de Punta Ballena, Guanica.

Usando tanto el conocimiento previos sobre las regiones de interes como las imágenes de NDVI filtrado, seleccionamos las regiones de interes para realizar la comparacion de NDVI. La **Figura 13** y **Figura 14** muestran las regiones de interes seleccionadas.



Figura 13. Region de interes para Joyuda, Cabo Rojo.



Figura 14. Region de interes para Punta Ballena, Guanica.

Utlizando ENVI calculamos el NDVI promedio para las areas de interés en ambas imágenes. Los resultados de NDVI promedio son presentados en la **Tabla 6**.

Región	NDVI Promedio
Joyuda	0.2726
Punta Ballena	0.2769

Tabla 6. Resultados de NDVI promedio para las regiones de interés.

Conclusión

En conclusión, debido a la incertidumbre relacionada a la data de campo previa, se nos imposibilitó el poder identificar correctamente la ubicación de mangle rojo en las imágenes de IKONOS. Basado en conocimiento previo, escogimos una región de interés que entendimos es representativa para propósito del estudio. Los resultados obtenidos sugerirían que el uso de análisis de NDVI para la detección de mangles contaminados no obtiene resultados efectivos. Sin embargo, sin la certeza de que en efecto los resultados corresponden a la especie de mangle de interés, no es posible tomar los resultados como conclusos.