

Teledetección de las regiones de humedales de la zona oeste de Puerto Rico, ¿cuán saludables se encuentran?

Lourdes Colón-Ortiz

Departamento de Biología, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez

RESUMEN - Los humedales son zonas transicionales entre sistemas acuáticos y terrestres donde el terreno permanece inundado o saturado por el agua. Es de suma importancia estudiar estos ecosistemas, pues, además de funcionar como hábitats para especies nativas y exóticas, funciona como filtro para los contaminantes proveniente de las escorrentías. El objetivo principal de este trabajo fue detectar los cambios en índices de vegetación (NDVI) para humedales con vegetación mayor y menor de 2m. Para esto, se utilizaron las imágenes de Landsat TM (1998) e IKONOS (2001). Se compararon las clases obtenidas bajo el módulo “Maximum Likelihood” y las zonas designadas como humedales por el Inventario Nacional de Humedales (NWI, por sus siglas en inglés). A cada imagen se le aplicó el algoritmo para el NDVI. Se analizaron los índices de las zonas de humedales que coincidieron tanto en la clasificación supervisada como en los polígonos del NWI. Al comparar los resultados, pudimos notar que las zonas con vegetación mayor de 2m mostraron índices de vegetación más altos que las zonas de ciénagas. Por otra parte, mediante un análisis de varianzas, los resultados de Landsat TM e IKONOS mostraron dar resultados significativamente diferentes.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son tierras entre hábitats terrestres y de aguas profundas, donde el nivel freático está generalmente en o cerca de la superficie del terreno, o el terreno está cubierto por aguas poco profundas (Cordwin *et al.*, 1979). La localización de estos ecosistemas varían, desde la costa hasta las zonas montañosas, por lo que también se clasifican según la salinidad a la que se encuentran, así como su nivel freático y la entrada de agua que tengan (Lugo y Brown, 1988). Los humedales poseen una importancia tanto ecológica como comercial, por poseer una alta diversidad de organismos. Además, mejoran la calidad del agua, proveen un mejor control de inundaciones y funcionan como filtro para las descargas de contaminantes (Munyati, 2000). Por la gran aportación de los mismos al ecosistema, es de suma importancia estudiarlos y conservarlos (Williams, 1990).

La vegetación que habita en los humedales juega un papel importante en mantener tanto el equilibrio como los productos secundarios de las lagunas costeras y estuarios y además forman la base de la mayoría de las estructuras tróficas costeras, por producir constantemente materia orgánica (Blasco *et al.*, 1996) El cuantificar los cambios que ocurren en la vegetación de estos ecosistemas nos da una idea de cómo estos han sido afectados (positiva o negativamente) a través del tiempo. Las imágenes obtenidas de satélites y sensores en aviones nos permiten estudiar dicha vegetación y mejor aun, proveen información espacial comprensiva de los lugares inaccesibles, haciendo la percepción remota una herramienta invaluable para la percepción de humedales (Mesa-Díaz y

Blackburn, 2003). Recientemente se ha aplicado la percepción remota para el estudio de la vegetación en los humedales, aplicando algoritmos para el índice de área de las hojas (LAI, por sus siglas en inglés) y para la diferenciación del índice de vegetación normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés) (Green *et al.*, 1998; Munyati, 2000). Sin embargo, no hay estudios reportados para el área de Puerto Rico que indiquen la salubridad de estos ecosistemas o cómo han ido cambiando los índices de vegetación a través del tiempo. Sabemos que en Puerto Rico, los humedales han disminuido en los últimos siglos como resultado del aumento en el desarrollo agrícola, poblacional y turístico (Adams *et al.*). Además de disminuir el área de estos ecosistemas, las actividades antropogénicas pueden haber afectado la salubridad de los mismos. Es por esta razón que en esta investigación nos dedicamos a teledetectar zonas de humedales, específicamente zonas de manglares y de ciénagas, utilizando imágenes de IKONOS y Landsat Thematic Mapper (TM) y aplicando los algoritmos para el NDVI. Los objetivos fueron determinar las zonas de humedales con vegetación mayor y menor de 2m para el área oeste de Puerto Rico y detectar cambios en la salubridad entre dichos humedales. Además se quiso realizar una comparación entre ambos sensores para ver si existen diferencias significativas entre los índices ofrecidos por los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Esta investigación se llevará a cabo para la zona oeste de Puerto Rico. En sus costas, abundan los humedales dominados por manglares (e.g. *Rhizophora mangle*) y los denominados pollales (*Pterocarpus* sp.). Además, hay humedales estuarinos (entre la costa y ríos), riverinos y palustrinos. Los humedales riverinos y palustrinos dependen de la entrada de agua por escorrentías o por la precipitación, por lo que tendrán una salinidad más baja. Además, están dominados mayormente por vegetación herbácea.

Procesamiento de imágenes

Para este estudio se utilizaron las imágenes de Landsat TM (1998) e IKONOS (2001) para la zona oeste de Puerto Rico. Las mismas fueron georeferenciadas. A éstas, se les sobrepusieron los polígonos creados por el Inventario Nacional de Humedales (NWI, por sus siglas en inglés) para el área oeste de Puerto Rico. Luego, se realizó una clasificación supervisada para ambas imágenes, utilizando el módulo “Maximum Likelihood” (Ozesmi y Bauer, 2002). El criterio principal fue la selección de las áreas con vegetación mayor de 2m (donde dominan *Rhizophora mangle* y *Pterocarpus* sp.) y las áreas con vegetación menor de 2m (donde abundan las herbáceas, e.g. ciénagas). Además, a cada imagen cruda se le aplicó el algoritmo para el NDVI. Se analizaron los índices de las zonas de humedales que coincidieron tanto en la clasificación supervisada como en los polígonos del NWI. Para esto, se sobrepusieron grillas (50 unidades) en las imágenes con el NDVI. Se seleccionaron 3 cuadrados con vegetación mayor de 2m y 3 cuadrados con vegetación menor de 2m. Se tomaron los índices de vegetación para 10 píxeles diferentes dentro de cada cuadrado. Utilizando los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y una

prueba de Tukey para ver si existían diferencias significativas entre los índices de vegetación de las zonas de humedales con vegetación mayor de 2m y menor de 2m, así como para observar diferencias entre los sensores.

RESULTADOS

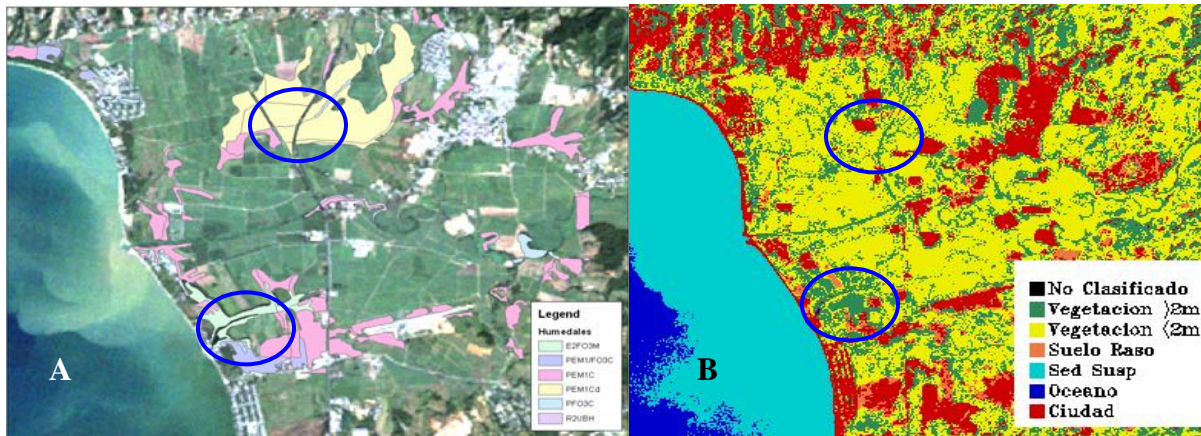


Figura 1: Imagen de Landsat TM. La figura a muestra los polígonos del NWI sobre una imagen a color verdadero del área oeste de Puerto Rico. La figura b muestra la clasificación supervisada bajo el módulo Maximum Likelihood para la misma área. Las zonas que indican los círculos azules fueron las que se consideraron a la hora de tomar los valores del NDVI.

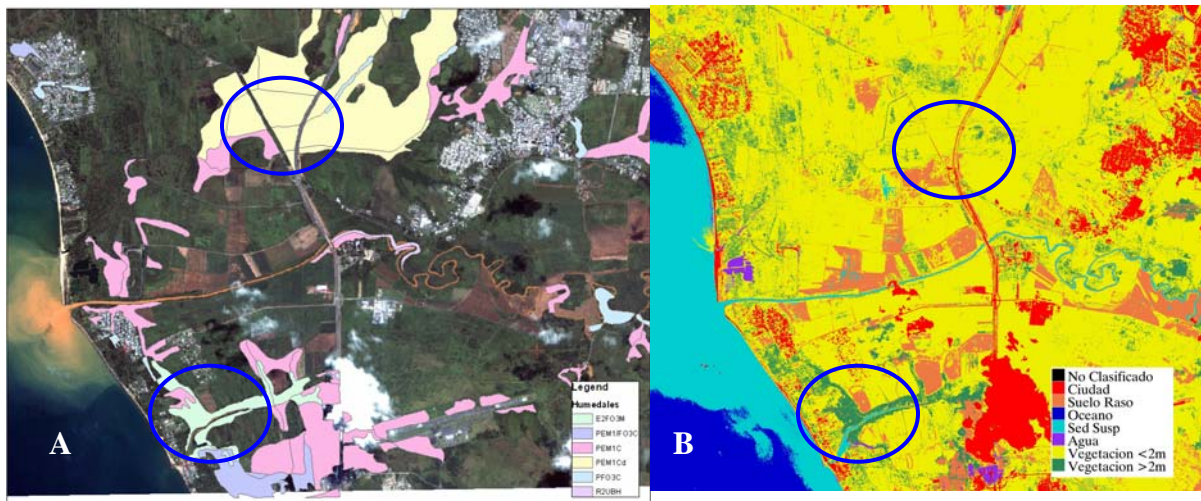


Figura 2: Imagen de IKONOS. La figura a muestra los polígonos del NWI sobre una imagen a color verdadero del área oeste de Puerto Rico. La figura b muestra la clasificación supervisada bajo

el módulo Maximum Likelihood para la misma área. Las zonas que indican los círculos azules fueron las que se consideraron a la hora de tomar los valores del NDVI.

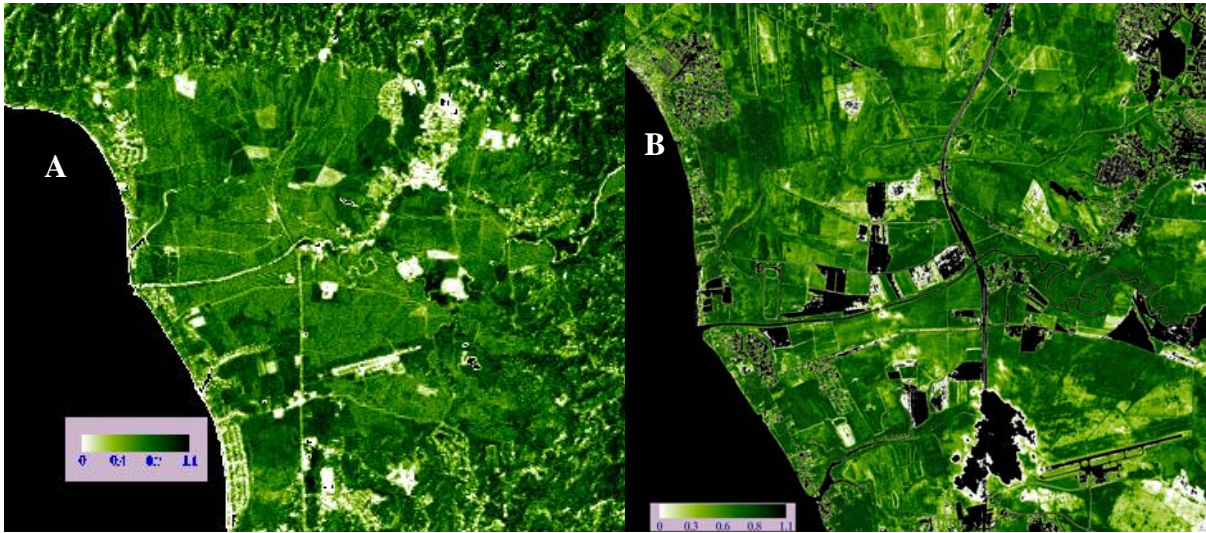


Figura 3: NDVI para las imágenes de Landsat TM (a) e IKONOS (b).

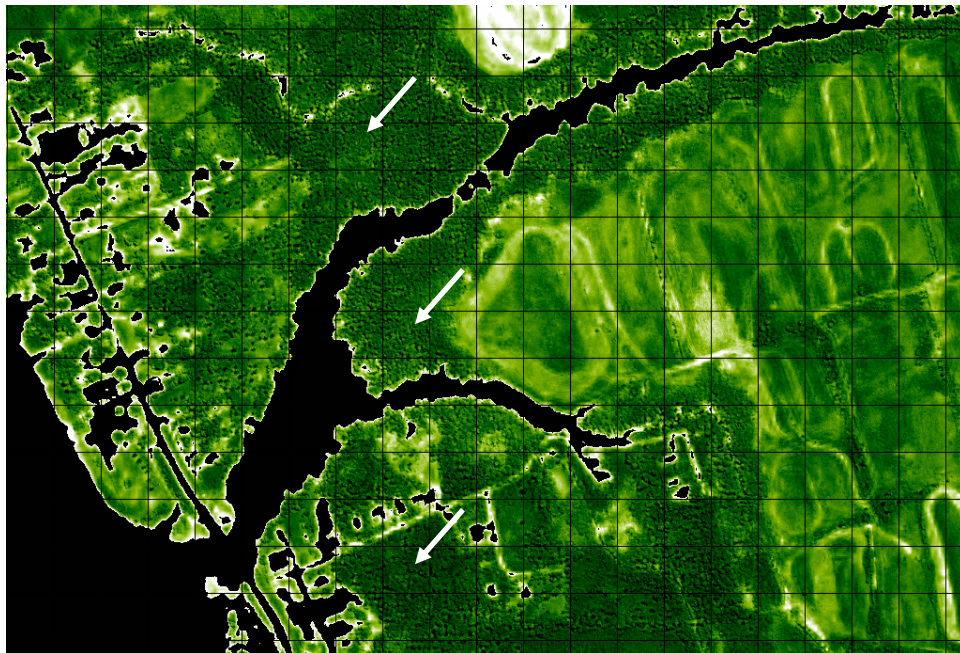


Figura 4: NDVI para el área oeste de Puerto Rico, captada por IKONOS. Aquí se muestra un ejemplo de cómo se calcularon los índices de vegetación. Las áreas que indican las flechas blancas representan humedales con vegetación mayor de 2m. Se seleccionaron 10 píxeles de cada cuadrado

señalado. Este procedimiento se repitió, tanto para las zonas de humedales con vegetación menor de 2m como para ambos humedales bajo la imagen de Landsat TM.

Tabla 1: Medias muestrales de los índices de vegetación para cada cuadrado seleccionado bajo las imágenes de IKONOS y de Landsat TM.

NDVI IKONOS	Clasificación	NDVI TM	Clasificación
0.555077	>2m	0.457777	>2m
0.638338	>2m	0.489452	>2m
0.557661	>2m	0.450401	>2m
0.432770	<2m	0.391251	<2m
0.506489	<2m	0.382071	<2m
0.418123	<2m	0.351507	<2m

Tabla 2: Análisis de la Varianza para los NDVI para la zona de humedales con vegetación mayor y menor de 2m. Además, se muestra el análisis de varianza entre los datos provistos bajo los dos sensores.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	Valor p
Modelo	0.71	3	0.24	45.81	< 0.0001
Sensor	0.24	1	0.24	46.72	< 0.0001
Vegetación	0.45	1	0.45	86.82	< 0.0001
Sensor*Vegetación	0.02	1	0.02	3.89	0.0509
Error	0.60	116	0.02		
Total	1.30	119			

DISCUSIÓN

Observando las figuras 1b y 2b, podemos notar que la clasificación supervisada bajo el módulo de Maximum Likelihood funcionó bien para ambas imágenes (Landsat e Ikonos). Es decir, se obtuvieron las clasificaciones esperadas. Cuando corroboramos las clases obtenidas con los datos de campo, estos coincidieron. Al comparar los resultados de la Tabla 1 entre sí, pudimos notar que las zonas con vegetación mayor de 2m mostraron índices de vegetación más altos que las zonas con vegetación menor de 2m (ciénagas). Cuando observamos la Tabla 2, podemos corroborar que sí existen diferencias significativas ($p < 0.0001$) entre zonas de humedales con vegetación de diferentes alturas. Esto se puede explicar mediante las siguientes razones: 1) entre las zonas de ciénagas existen áreas de suelo raso y 2) el área de las hojas en las ciénagas es menor que el área de las hojas de los mangles y palos de pollo. En ambas situaciones, las zonas de ciénagas van a presentar menor cantidad de clorofila que las zonas de vegetación mayor de 2m. En general, podemos decir que los humedales con alta vegetación (i.e. manglares, bosques de

Pterocarpus, entre otros...) se encuentran más saludables que las zonas de ciénagas (dominado mayormente por herbáceas y lirios acuáticos). De igual manera, podemos observar en la Tabla 2 que hay diferencias significativas entre sensores ($p < 0.0001$). Si analizamos la Tabla 1 podremos notar que los índices para la imagen de IKONOS fueron más altos que los obtenidos para la imagen de Landsat TM. Esto puede verse afectado por la resolución espacial de Landsat TM (30m), que es menor que la de IKONOS (1m).

Debido a la disponibilidad de imágenes, no pudimos realizar estudios temporales. En el futuro, se podrían comparar los NDVI para un mismo humedal a través del tiempo y establecer patrones que indiquen cómo cambia la salubridad de los mismos con el aumento en la actividad antropogénica. Es preferible que se realice mediante el uso de imágenes de IKONOS, ya que mostró ser más sensitivo a los pequeños detalles. Sin embargo, entendemos que las imágenes captadas por este sensor no están disponibles para el área de Puerto Rico. Si observamos la Tabla 1, notaremos que al menos hubo una consistencia entre los datos para ambos sensores, mostrando valores más altos para las zonas con vegetación mayor de 2m, por lo que es aceptable utilizar Landsat TM para este tipo de estudio, en caso de no tener al alcance las imágenes de IKONOS.

LITERATURA CITADA

1. Adams, D.B. y Hefner, J.M. Humedales de Puerto Rico. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2425.
2. Blasco, F., P. Saenger, y E. Janodet. 1996. Mangrooves as indicators of coastal changes. *Catena*. 27: 167-178.
3. Cowardin, L.M., Carter, Virginia, F.C. Golet, y E.T LaRoe. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States: US Fish and Wildlife Service Report FWS/OBS – 79/31, 131p.
4. Green, E.P., C.D. Clark, P.J. Mumby, A.J. Edwards, y A.C. Ellis. 1998. Remote Sensing Techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing*. 19: 935-056.
5. Lugo, A.E. y S. Brown. 1988. The wetlands of the Caribbean Inlands. *Acta Científica*. 2 (2-3): 94-123.
6. Mesa-Díaz, B. y G.A. Blackburn. 2003. Remote Sensing of mangrove biophysical properties: evidence from a laboratory simulation of the possible effects of background variation of spectral vegetation indices. *International Remote Sensing*. 24(1): 53-73.
7. Munyati, C. 2000. Wetland change detection on the Kaufe, Zambia, by classification of a multitemporal remote sensing image dataset. *International Journal of Remote Sensing*. 21(9): 1787-1806.

8. Ozesmi, S.L., y M.E. Bauer. 2002. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands Ecology and Management* 10:381-402.
9. Refugio de Pesca y Vida Silvestre (FWS). Inventario Nacional de Humedales (NWI) para Puerto Rico. http://wetlands.fws.gov/regional_maps/pr_vi.pdf.
10. Williams, M. 1990. Protection and retrospection. En: Williams, M. (ed.), *Wetlands: A threatnet landscape*. Oxford, Blackwell. Pp. 325-353.