

Estudio en los cambios en el Índice de Vegetación del Estuario Pantano Espinar y Caño Madre Vieja Usando Imágenes del Sensor OLI para el 2017-2018

Jarelys González Perez

Introducción

Un 70 por ciento de la superficie de la tierra está cubierta con vegetación (Jensen, 2007). La vegetación es considerada un componente importante para los ecosistemas (Jensen, 2007). Tener conocimiento sobre las variaciones en las especies de plantas, patrones de distribución de la comunidad, alteración en los ciclos fenológicos (crecimiento) de las plantas y las modificaciones fisiológicas y la morfología de la planta brindan información importante sobre las características climáticas, geológicas y fisiográficas de un área (Jones et al., 1998; Jensen, 2007). Científicos han desarrollado sensores y algoritmos de procesamiento de imágenes visuales y digitales para extraer información biofísica de la vegetación a partir de datos detectados a larga distancia (e.g., Frohn, 1998; Huete y Justice, 1999; Jensen, 2007). Parte de las técnicas de percepción remota son de naturales, genérica y se pueden aplicar en paisajes (landscape) con vegetación, los cuales incluye: terrenos para uso de agricultura, bosques, humedales, pastizales entre otros (Danson, 1998; Lyon et al., 1998; Jensen, 2007).

Para poder calcular el índice de vegetación debemos comprender lo que ocurre en las hojas de las plantas. La vegetación lleva a cabo un proceso conocido como fotosíntesis (ilustración 1), en el cual la energía que proviene del sol (radiación electromagnética), se convierte en energía química en forma de azúcares como subproducto (González, 2019). De manera general, la energía utilizada en la reacción es para romper las moléculas de dióxido de carbono y agua para producir glucosa y oxígeno (González, 2019).

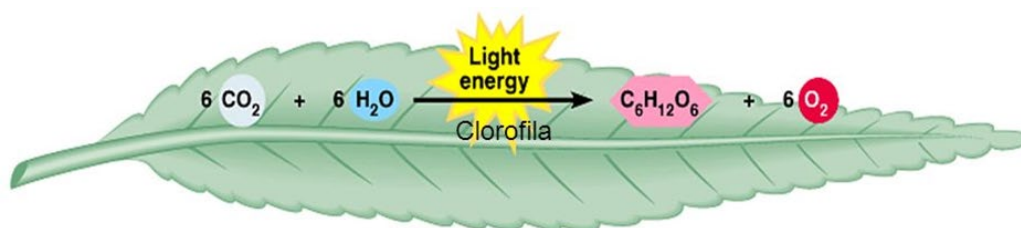


Ilustración 1. Reacción de fotosíntesis. (Recuperada, <https://slideplayer.es/slide/131881/>)

Observando la estructura interna de una hoja (mediante un corte transversal), está compuesta por diferentes estructuras entre ellas la cutícula, epidermis superior e inferior, mesófilo empalizado, mesófilo esponjoso, estomas, xilema y floema (ilustración 2) (González, 2019). En la epidermis empalizada (estructura ordenada) es donde se encuentran los cloroplastos (pigmentos fotosintéticos) y en la parte inferior está localizado el mesófilo esponjoso (estructura desordenada) la estructura tiene burbujas de aire entre las células, este detalle tiene un efecto en como las ondas electromagnéticas se comportan. En el mesófilo empalizado es el lugar donde afecta la región visible del espectro electromagnético y en el mesófilo esponjoso, es la zona que afecta la región del infrarrojo cercano (González, 2019). Los largos de onda visible, el azul y el rojo son absorbidos en el mesófilo empalizado, mientras que el verde es reflejado (razón por la cual vemos las plantas de color verde), mientras que el infrarrojo cercano continúa viajando a través de la hoja llegando al mesófilo esponjoso, donde tiene el efecto de dispersión (González, 2019). Estas estructuras controlan la curva de reflectancia de la vegetación (González, 2019).

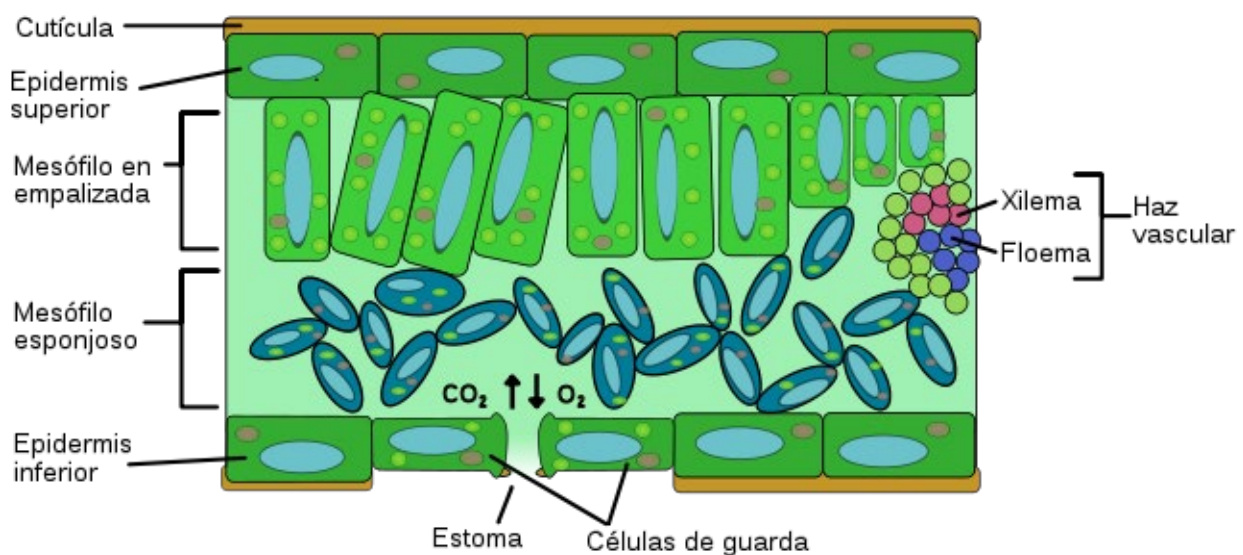


Ilustración 2. Corte trasversal de una hoja, donde se observa el mesófilo esponjoso, mesófilo empalizado y las demás estructuras que componen la hoja (Recuperada, <https://beautifulsci.wordpress.com/2014/05/26/las-hojas-multiusos-estructura-y-funcion-de-la-hoja/>).

Área de estudio

El Estuario Pantano Espinar y Caño Madre Vieja está localizado en la zona noroeste de Puerto Rico, en el barrio Espinar del municipio de Aguada y conforma, en parte, la colindancia de Aguada y Aguadilla (ilustración 3). Se encuentra ubicada en la latitud: 18° 24' 46.05" N y longitud 67° 9' 45.03" O (Díaz, 2016). Esta área está formada por manglares y humedales las cuales se

encuentran en buenas condiciones por no tener contaminación conocidas (Díaz, 2016). En la zona predomina la presencia del mangle rojo (*Rhizophora mangle*), además se observan otras especies de árboles como la emajagüilla (*Thespesia populnea*) y la emajagua (*Hibiscus permabucensis*) (Díaz, 2016).

Esta zona funciona como un corredor natural de aves migratorias para el noroeste de Puerto Rico (Díaz, 2016). Además, constituye un área de reproducción y hábitat crítico para varias especies de aves endémicas y migratoria como el pelicano pardo (*Pelecanus occidentalis*), el pato dominico (*Oxyura dominico*), gallinazo caribeño (*Fulica caribaea*) (Díaz, 2016).

“La zona que conforma este estuario fue incluida como una de las primeras 26 áreas identificadas para ser designadas como Reserva Natural por el Programa de Manejo de la Zona Costanera de Puerto Rico (PMZCPR), establecido en 1978” (Díaz, 2016). De acuerdo con PMZCPR, las zonas que son Reservas Naturales contienen importantes recursos naturales, que están sujetos a serios problemas de uso presente y futuro, por lo que deben ser preservados y conservados en su estado original y en otros casos donde sea posible, serán restaurados a su condición natural (Díaz, 2016).

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), vinculado con la organización comunitaria Ciudadanos Aguadeños Pro-Conservación del Ambiente (CAPCA) y el Programa Sea Grant de la UPRM, proponen la preservación y conservación de los terrenos de dominio público marítimo terrestre del área (Díaz, 2016). Estas zonas son: Pantano Espinar y canales principales del Caño Madre Vieja, así como la zona marítimo terrestre de la berma de playa y las aguas territoriales y terrenos sumergidos, hasta la propiedad 045-083-197-76-000, en las cercanías de la carretera PR-442 de Aguada (Díaz, 2016).

El documento de designación del Estuario Pantano Espinar recomienda designar un total de 4, 065 cuerdas que se desglosan: 47.5 cuerdas de bienes de dominio público conformado por mangles, 8.5 cuerdas de berma de playa, y 4,009 cuerdas correspondientes al componente marino de 9 millas náuticas lineales mar afuera, proyectadas de forma perpendicular a la línea de costa desde márgenes identificados (ilustración 3) (Díaz, 2016).



Ilustración 3. Área de estudio (Estuario Pantano Espinar y Caño Madre Vieja), el área de color amarillo muestra la zona que delimitada para declarar una reserva natural. Las líneas entre cortadas de color amarillo es el límite de los municipios. Las líneas de color azul es la extensión marina. (Recuperada de Documento de Designación; Díaz, 2016).

Esta investigación surge de una visita al Estuario Pantano Espinar (donde está ubicado el parque Colón (utilizado como punto de referencia) al ver el área tan afectada por el paso del huracán María y eventos de marejadas, me pregunte ¿Como fue afectada la vegetación del Estuario Pantano Espinar y Caño Madre Vieja por diferentes eventos atmosféricos, huracán María y eventos de marejadas?. El objetivo de esta investigación es estudiar los cambios en el índice de vegetación del Estuario Pantano Espinar y Caño Madre Vieja durante 2017 y 2018 por diferentes eventos atmosféricos como el huracán María, eventos de marejadas utilizando imágenes del sensor OLI a bordo del satélite Landsat 8.

Metodología

Esta investigación tiene diferentes etapas: (1) Descargar las imágenes de la base de datos de “EarthExplorer” del sensor OLI del satélite Landsat 8 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), y descomprimir las imágenes (el programa utilizado fue WinRAR), (2) utilizar el programa de

ArcMap para procesar las imágenes, se realizó un corte a las bandas, un clip de los municipios Aguada y Aguadilla, y un polígono del área de estudio, (3) determinar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) para los años 2017 y 2018.

Landsat 8 (OLI/ TIRS)

Landsat 8 órbita la Tierra en una órbita sincrónica, casi polar, a una altitud de 705 km (438 millas), inclinada a 98.2 grados y rodea la Tierra cada 99 min. El satélite tiene una resolución temporal de 16 días con un tiempo de cruce ecuatorial: 10:00 a.m. más o menos 15 min (USGS). El tamaño de la escena es de 170 km x 185 km (106 mi x 115mi) (USGS). Los productos que se obtiene de Landsat 8 de los sensores OLI/TIRS se encuentran disponibles para descargar en “EarthExplorer”, GloVis y “LandsatLook Viewer” (USGS). La tabla 1 muestra las bandas de los sensores OLI/TIRS con su resolución espacial. El sensor OLI solo tiene 9 bandas, las bandas 10 y 11 pertenecen a TIRS.

Resolución Espacial	Bandas	Región Espectral	Resolución Temporal
30	1	Aerosol Costero	16 Días
	2	Azul	
	3	Verde	
	4	Rojo	
	5	Indrarrojo Cercano (NIR)	
	6	Infrarrojo de Onda Corta (SWIR 2)	
	7	Infrarrojo de Onda Corta (SWIR 2)	
15	8	Pancromática	
30	9	Cirrus	
100	10	Infrarrojo Termal (TIRS 1)	
	11	Infrarrojo Termal (TIRS 2)	

Tabla 1. Bandas de los sensores OLI/TIRS.

ArcMap

Diez imágenes descargadas del sensor OLI fueron procesadas en esta investigación para el 2017-2018 (las imágenes obtenidas fueron de los meses abril, mayo, agosto, septiembre, octubre y diciembre, en las cuales tuvieron pocas o no nubes (escogiendo imágenes antes y después del paso del huracán María). Para poder procesar las imágenes obtenidas de EarthExplorer, se utilizó el programa de ArcMap (uno de los programas utilizados del Sistemas Geográficos de Información

(ArcGIS)). En este programa se realizó un corte a las bandas de las diez imágenes (“Pan Sharpen”) para mejorar su resolución espacial donde las bandas del espectro visibles e infrarrojo cercano tienen una resolución espacial de 30 metros, para realizar el corte se usó la banda 8 (banda pancromática) con una resolución espacial de 15 metros. Al momento de realizar el corte las bandas de 30 metros se convirtieron a 15 metros mejorando la resolución espacial. Luego de realizar el corte, se hizo un “clip” para los municipios de Aguada y Aguadilla. Utilizando parte del área que quieren designar como reserva natural se realizó un polígono donde incluyera vegetación (área donde se encuentra un bosque de mangles) la cual es nuestra área de estudio.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

“El índice de vegetación de diferencia normalizada genérica (NDVI) ha proporcionado un método para estimar la producción primaria neta en distintos tipos de biomas (por ejemplo, Lenney et al., 1996), identificando ecorregiones (Ramsey et al., 1995), monitoreando los patrones fenológicos de la vegetación del planeta, superficie, y de evaluar la duración de la temporada de crecimiento y los períodos de secado” (Huete y Liu, 1994). Utilizada para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja (mappingGIS). Este índice utiliza la banda roja y la banda del infrarrojo cercano. La ecuación utilizada para determinar el índice de vegetación de diferencia normalizada es la siguiente:

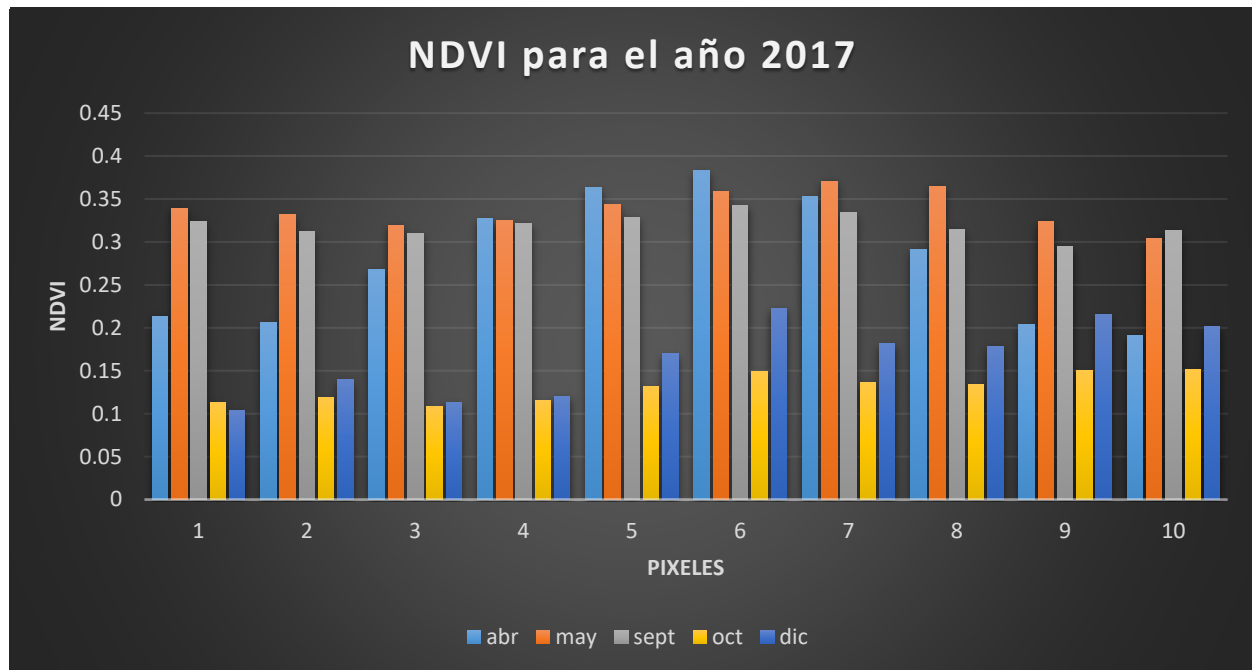
$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$$

Ilustración 4. Ecuación para obtener el índice de vegetación de diferencia normalizada.

Resultados y Discusión

Los resultados de esta investigación incluyen las imágenes de OLI con el NDVI y valores de 10 píxeles escogidos para las 10 imágenes en el 2017-2018, para ver el cambio en el índice de vegetación en un área escogida dentro del polígono de la zona de estudio. Los píxeles específicos (misma ubicación) seleccionados para el 2017-2018 están incluido en la tabla 1 y tabla 2.

Valores de NDVI en los 10 pixeles seleccionados en el área escogida del polígono de la zona de estudios para el 2017

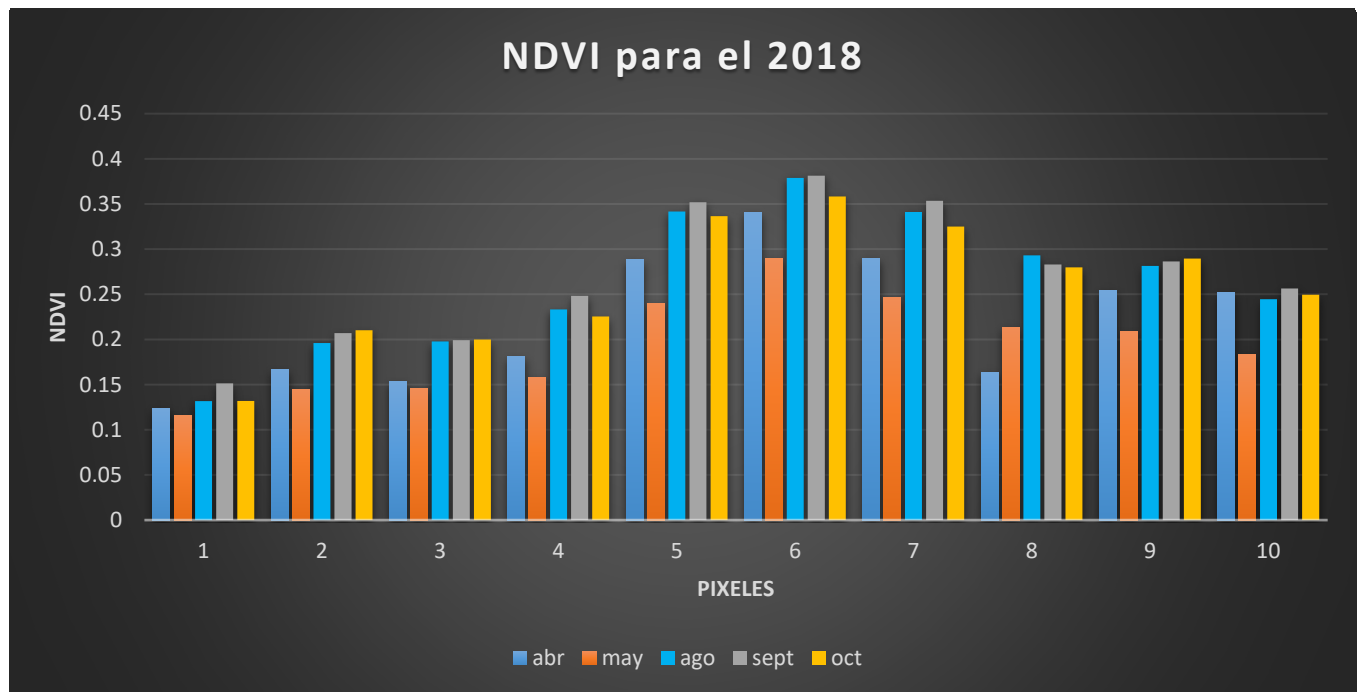


Gráfica 1. Valores de NDVI en los 10 pixeles seleccionados en las 5 imágenes procesadas para el año 2017.

Los valores de NDVI para el mes de abril fluctúa 0.18 a 0.36 teniendo un promedio de 0.28 por lo cual podemos decir que la vegetación esta poco saludable. Esto puede ser a consecuencia de pocos periodos de lluvia (tiempo más frio). Para el mes de mayo los valores de NDVI se encuentran entre 0.31 a 0.37 con un promedio de 0.33 aquí observamos que estos valores son un poco mas alto que los del mes de abril esto a consecuencia del comienzo de fuertes lluvias para el mes de mayo por lo que la vegetación comienza a estar saludable. En el mes de septiembre los valores de NDVI se encontraban entre 0.28 a 0.34 con un promedio de los 10 pixeles de 0.31 estos valores nos indica que la vegetación esta menos saludable que es mes de mayo, para este mes paso el huracán Irma (aunque este no afecto tanto el área Oeste de Puerto Rico) donde se sintieron algunas ráfagas de vientos lo que probablemente afecto un poco la vegetación. En el mes de octubre se observa una disminución en el índice de vegetación (NDVI) los valores están entre 0.13 a 0.15 con un promedio de 0.13, los 10 pixeles son de la imagen del 19 de octubre 2017 luego del paso del huracán María, este evento atmosférico afecto a todo P.R. provocando derrumbes y afectando directamente la vegetación (bosques, terrenos de agricultura entre otros), por lo que estos valores de NDVI nos indica que disminuyo la vegetación debido a este evento atmosférico. Para

el mes de diciembre los valores de fluctúan entre 0.12 a 0.23 con un promedio de 0.16, lo que nos indica que la vegetación comenzó a restablecerse.

Valores de NDVI en los 10 pixeles seleccionados en el área de estudio para el 2018



Gráfica 2. Valores de NDVI de los pixeles seleccionados de las 5 imágenes procesadas para el año 2018.

Los valores de NDVI para el mes de abril se encuentra entre 0.12 a 0.28 con un promedio de 0.22, estos valores nos indica que la vegetación se ha ido restableciendo lentamente, también este mes es de poca precipitación, por la que la vegetación no esta tan saludable. Para el mes de mayo se observa que algunos pixeles tienen un valor de NDVI mucho mas bajo que para el mes de abril los valores fluctúan 0.11 a 0.27 con un promedio de 0.19 (mas bajo que el mas de abril), esto nos indica que parte de la vegetación del área se esta comenzando a secar (poco saludable, luego de unos meses con poca precipitación), también este valor se puede ver afectado por la presencia de nubes o por alguna sombra de las nubes (debido a la posición del sol). En el mes de agosto se observa en la grafica 2 un aumento en el índice de vegetación donde los valores fluctúan entre 0.13 a 0.37 con un promedio de 0.26, la vegetación en tes mes esta mas saludable que el mes de abril y mayo, este periodo es de bastante precipitación. Los vales de NDVI para el mes de septiembre se encuentran entre 0.15 a 0.38 con un promedio de 0.27, aquí también observamos que la vegetación se encuentra un poco mas saludable. En el mes de octubre luego de un año del

paso del huracán María el valor de índice de vegetación se encuentran un poco mas alto estos valores fluctúan entre 0.11 a 0.36 con un promedio de 0.26.

De forma general podemos decir que los valores de NDVI luego del paso del huracán María se han mantenido constante los que nos indica que la vegetación ha ido restableciéndose lentamente durante un año. Estos nos indica que a un año del paso del huracán María la vegetación en el Estuario Pantano Espinar y Caño Madre Vieja se restableció muy lento. Además, que muchas áreas quizás no volvieron a ser reforestadas por lo que las poblaciones de árboles y mangles disminuyeron.

Conclusión

La vegetación es un componente importante para los ecosistemas (Jensen, 2007). Tener conocimientos sobre las especies de plantas, alteración de ciclos fenológicos (crecimiento) de las plantas y patrones de distribución de la comunidad nos brinda información sobre las características geológicas, climáticas (por ejemplo, periodo de sequía y de lluvia en un lugar) del área que se quiere investigar (Jones et al., 1998; Jensen, 2007).

Para obtener el índice de vegetación debemos tener conocimiento que ocurre en las plantas al momento que reciben la radiación electromagnética que provienen de nuestra fuente de luz el sol. Las plantas llevan a cabo un proceso conocido como fotosíntesis, en el cual la energía que proviene del sol se convierte en energía química en forma de azúcares como subproducto (González, 2019). La energía utilizada en la reacción es para romper las moléculas de dióxido de carbono y agua para producir glucosa y oxígeno (González, 2019). Las hojas de las plantas tienen diferentes estructuras internas en las que se encuentran la cutícula, el mesófilo empalizado, mesófilo esponjoso, estomas, entre otros (González, 2019). En la epidermis empalizada (estructura ordenada) es donde se encuentra los cloroplastos (pigmentos fotosintéticos) y en la parte inferior se encuentra el mesófilo esponjoso (estructura desordenada) esta tiene burbujas de aire entre las células, este detalle tiene un efecto en como las ondas electromagnéticas se comportan. En el mesófilo empalizado lugar donde afecta la región visible del espectro electromagnético y en el mesófilo esponjoso, zona que afecta la región de infrarrojo cercano (González, 2019). Los largos de onda visible, el azul y el rojo son absorbidos en el mesófilo empalizado, mientras que el verde es reflejado (razón por la cual vemos las plantas de color verde), mientras que el infrarrojo cercano continúa viajando a través de la hoja llegando al mesófilo esponjoso, donde tiene el efecto de

dispersión (González, 2019). Estas estructuras controlan la curva de reflectancia de la vegetación (González, 2019).

El índice de vegetación de diferencia normalizada proporciona información sobre la vegetación de un área por la cual se puede estimar la cantidad (presencia o ausencia de vegetación) y calidad de la vegetación (vegetación saludable o no saludable) con la medición de la radiación de las bandas roja e infrarrojo cercano.

Los valores promedios de los 10 píxeles seleccionados de índice de vegetación de diferencia normalizada para el 2017 fluctuaron entre 0.13 a 0.33 indicándonos que la vegetación no está tan saludable o que hay poca vegetación en el Estuario Pantano Espinar y Caño Madre Vieja. Para el 2018 los valores promedios de NDVI están entre 0.19 a 0.26, si comparamos estos valores con los del año 2017 observamos que son un poco más bajos. Para el 2017 ocurrió dos eventos atmosféricos huracán Irma y María. El huracán María paso por P.R. el 20 de septiembre de 2017 ocasionando efectos significativos en la vegetación dejando áreas con suelos expuestos o mucha vegetación sin ramas, por lo que se observa en la gráfica 1 una disminución en los valores de NDVI para los meses de octubre y diciembre. En la gráfica del 2018 muestra los valores de NDVI un poco más bajos, aunque se observa que van aumentando lentamente lo que nos dice que la vegetación se está restableciendo poco a poco.

Recomendaciones

Para trabajos futuros, se recomienda encontrar imágenes con pocas o ninguna presencia de nubes para el área estudiada. Otra recomendación es utilizar un sensor con mejor resolución espacial como por ejemplo el sensor Sentinel que tiene una resolución espacial de 10 metros para las bandas roja e infrarrojo. Además, se puede aplicar el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI), para comparar los valores obtenidos del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Referencias

- Danson, F.M., 1998, "Teaching the Physical Principles of Vegetation Canopy Reflectance Using the SAIL Model," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64(8):8010-812.
- Díaz, R. C., 2016, Documento de Designación: Reserva Natural del Estuario Pantano Espinar y Caño Madre Vieja, p. 1-77.
- Frohn, R. C., 1998, *Remote Sensing for Landscape Ecology*, Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 99 pp.
- González, P. J., 2019 *Indice de Vegetación: Departamento de Geología*, p. 1-13.
- Huete, A., Justice, C., 1999, MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document, Greenbelt: NASA Godard Space Flight Center, <http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/#vegetation-indices>, 129 pp.
- Jensen, J. R., 2007, *Remote Sensing of the Environment*, p. 333-337.
- Jones, K. B., Ritters, K. H., Wickham J. D., Tankersley, R. D., O'Neill, R. V., Chaloud, D. J., Smith, E. R., y Neale, A. C., 1998, *An Ecological Assessment of the United States: Mid-Atlantic Region*, Washintong: EPA, 103 pp.
- Las hojas multiusos: estructura y función de la hoja, 2014, <https://beautifulsci.wordpress.com/2014/05/26/las-hojas-multiusos-estructura-y-funcion-de-la-hoja/>
- Lyon, J. G., Yuan, D., Lunetta, R. S., y Elvidge, C. D., 1998, "A Change Detection Experiment Using Vegetation Indices," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64 (2): 143-150.
- Ramsey, R. D., Falconer, Jensen, J. R., 1995, "The Relationship between NOAA-AVHRR NDVI and Ecoregions in Utah, *Remote Sensing of Enviroment*, 53:188-198.
- USGS, 2019, Landsat Missions: Landsat 8, https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con

Tablas

	Píxeles 2017										
Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
abr	0.213756	0.206513	0.26742	0.327642	0.363217	0.38305	0.352707	0.291155	0.2035	0.1916	0.280056
may	0.339065	0.331508	0.319622	0.324658	0.343456	0.358216	0.370904	0.364582	0.323726	0.303786	0.337952
sept	0.323742	0.31234	0.310186	0.321961	0.328615	0.342765	0.334293	0.314974	0.294831	0.312998	0.319671
oct	0.112844	0.118973	0.108141	0.115589	0.131825	0.14958	0.136081	0.134071	0.150128	0.151929	0.130916
dic	0.104041	0.139891	0.112828	0.120361	0.169532	0.222779	0.18194	0.178697	0.215628	0.201426	0.164712

Tabla 1. Píxeles escogidos en las imágenes procesadas para el año 2017.

	Píxeles 2018										
Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
abr	0.123246	0.167055	0.153304	0.180711	0.288532	0.340757	0.289595	0.163433	0.253926	0.252159	0.221272
may	0.115498	0.144276	0.145254	0.157681	0.240089	0.289268	0.246985	0.213429	0.209019	0.183067	0.194457
ago	0.131664	0.196034	0.197742	0.233221	0.341571	0.378921	0.341148	0.293059	0.281491	0.244544	0.26394
sept	0.151449	0.207034	0.199302	0.248218	0.351854	0.38135	0.353445	0.282967	0.286456	0.256456	0.271853
oct	0.131901	0.210183	0.2	0.225484	0.336509	0.358268	0.325032	0.279765	0.289576	0.249543	0.260626

Tabla 2. Píxeles escogidos en las imágenes procesadas para el año 2018.

Imágenes

2017

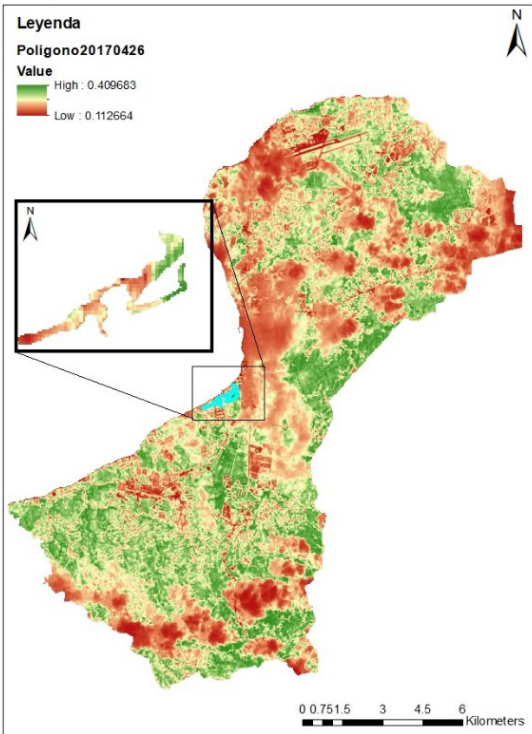


Figura 1. Imagen del 27 de abril de 2017 mostrando el NDVI (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).

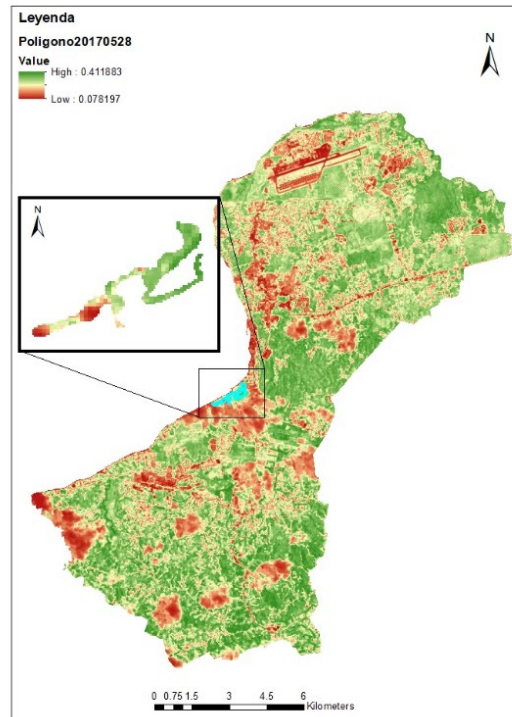


Figura 2. Imagen del 28 de mayo de 2017 mostrando el NDVI del área del polígono (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).

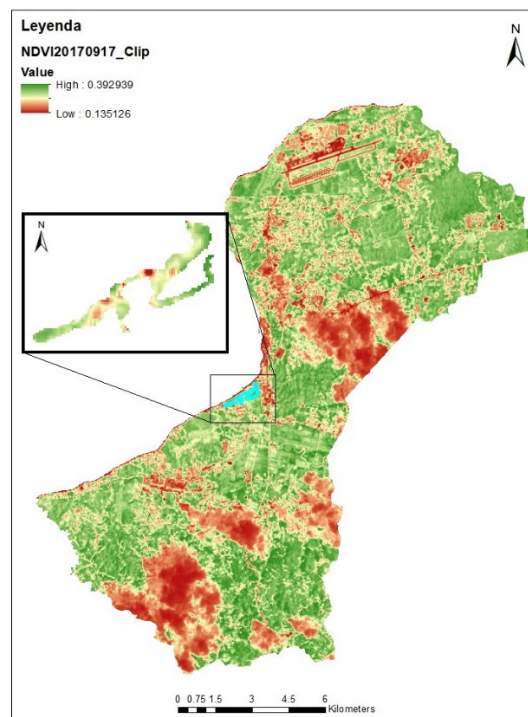


Figura 3. Imagen del 17 de septiembre de 2017 mostrando los valores de NDVI (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).

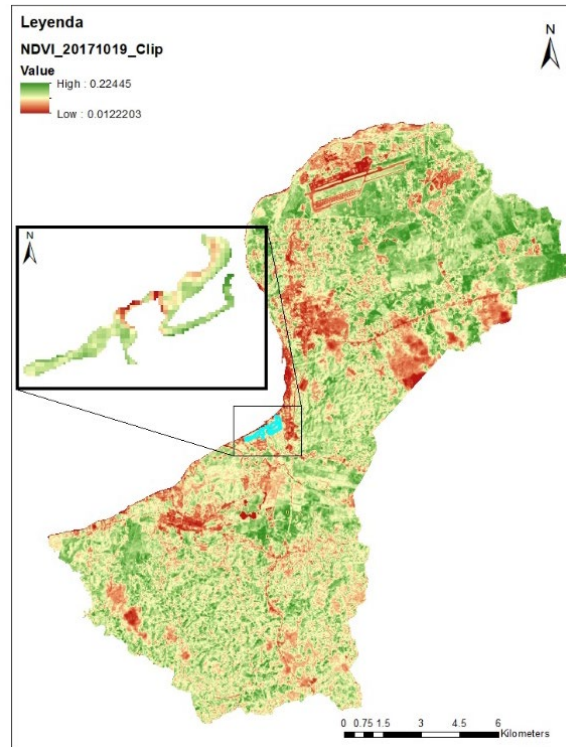


Figura 4. Imagen del 19 de octubre de 2017 mostrando los valores de NDVI (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).

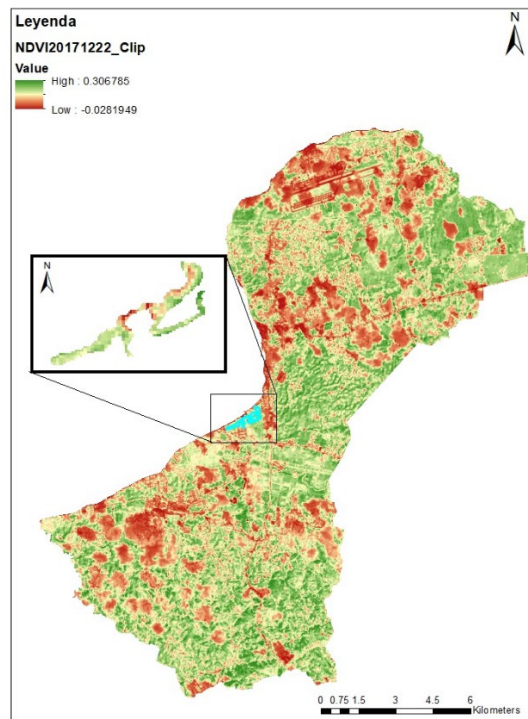


Figura 5. Imagen del 22 de diciembre de 2017 mostrando los valores de NDVI (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).

2018

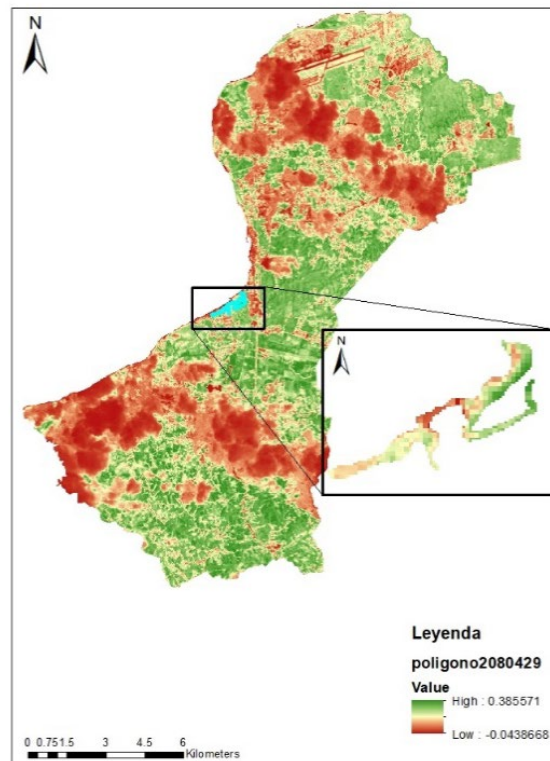


Figura 6. Imagen del 29 de abril de 2018 mostrando los valores de NDVI (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).

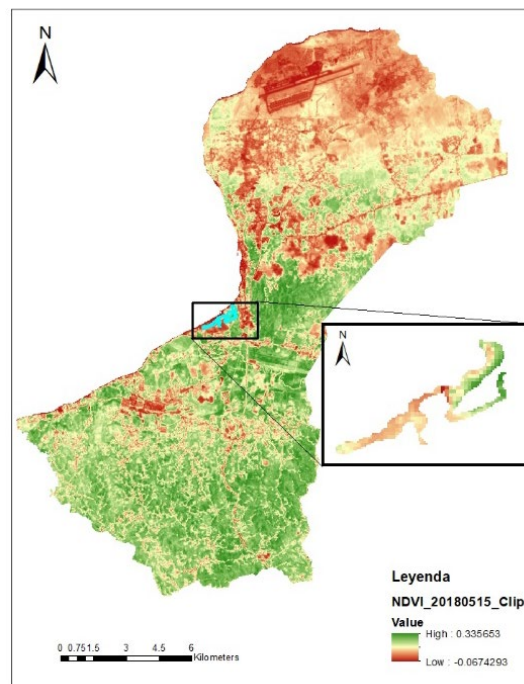


Figura 7. Imagen del 15 de mayo de 2018 mostrando los valores de NDVI (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).

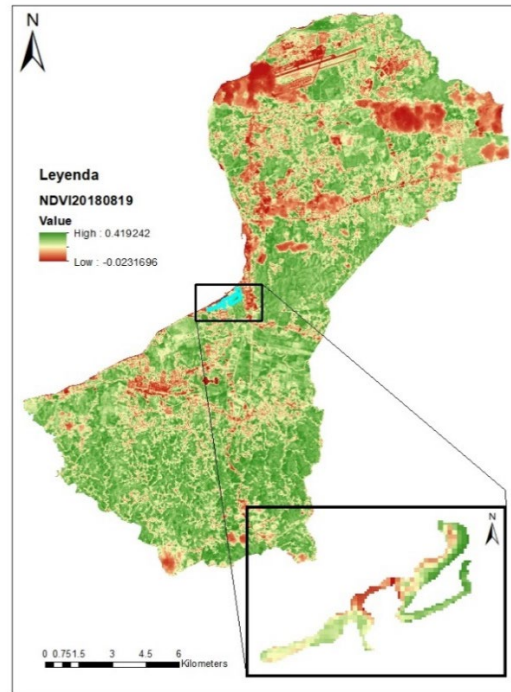


Figura 8. Imagen del 19 de agosto de 2018 mostrando los valores de NDVI (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).

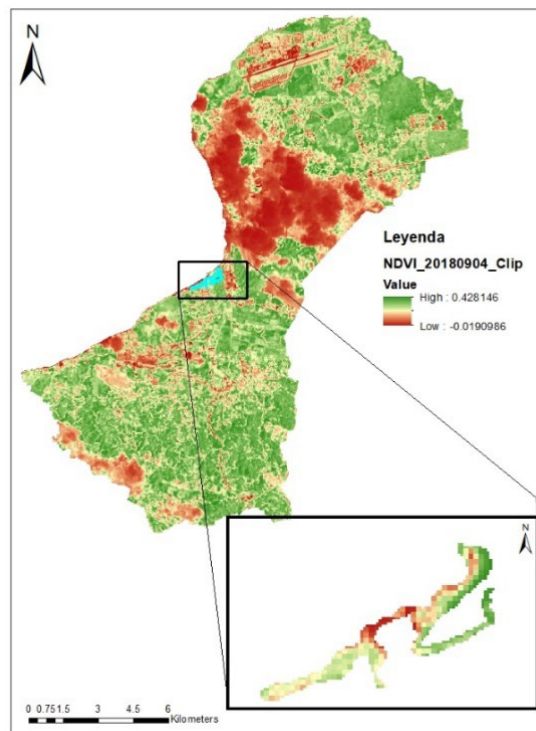


Figura 9. Imagen del 4 de septiembre de 2018 mostrando los valores de NDVI (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).

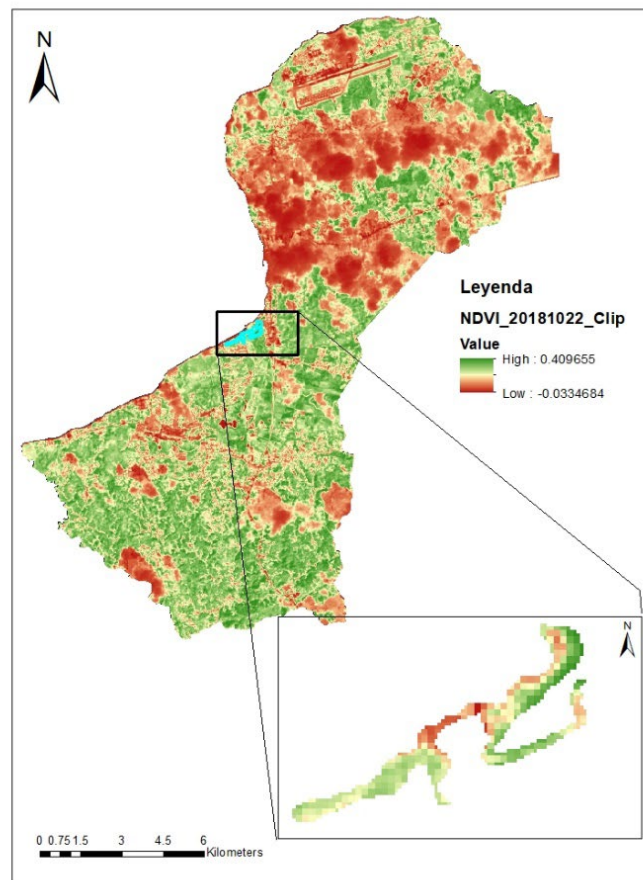


Figura 10. Imagen del 22 de octubre de 2018 mostrando los valores de NDVI (la leyenda pertenece al polígono del área de estudio).