

Interpretación de la dinámica de la vegetación durante la época seca en la ciénaga del Totumo (Piojón, Atlántico), a partir del cálculo del índice de vegetación normalizada (NDVI) y análisis multitemporal a imágenes Landsat 8 de los años 2014 a 2020

Interpretation of the dynamics of the vegetation during the dry season in the Totumo swamp (Piojón, Atlántico), from the calculation of the normalized vegetation index (NDVI) and multi-temporal analysis, to Landsat 8 images from 2014 to 2020

Recibido: 2020-03-22 / Aceptado: 2021-09-10

Víctor Manuel Pinzón Ochoa¹

DOI: 10.26640/22159045.2021.556

CITAR COMO:

Pinzón, V. (2021). Interpretación de la dinámica de la vegetación durante la época seca en la ciénaga del Totumo (Piojón, Atlántico), a partir del cálculo del índice de vegetación normalizada (NDVI) y análisis multitemporal a imágenes Landsat 8 de los años 2014 a 2020. *Bol. Cient. CIOH*; 40(2): 47-63. ISSN impreso 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI 10.26640/22159045.2021.556

RESUMEN

Se calculó el índice de vegetación normalizada NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) a imágenes Landsat 8 (2014 a 2020) empleando el Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 10.5) del entorno general (EG) y el área de influencia directa (AID) de la ciénaga del Totumo (Piojón, Atlántico). La cobertura vegetal durante el periodo analizado, tanto en el EG como en el AID, describe periodos donde las categorías de clasificación de la vegetación mayores (valor NDVI > 0.2) presentan mayor porcentaje de cobertura y periodos en los cuales las categorías de clasificación menores (≤ 0.2) presentan mayor porcentaje de cobertura vegetal. La mayor cobertura vegetal durante el periodo de estudio se presentó para el año 2020; sin embargo, este aumento de la cobertura vegetal de categoría 2, al encontrarse al interior del cuerpo de agua, sugiere aumento de la sedimentación de la ciénaga que ha sido colonizado por algún tipo de vegetación con actividad fotosintética.

PALABRAS CLAVES: índice NDVI, ciénaga del Totumo, cobertura vegetal, meteorología.

ABSTRACT

The normalized vegetation index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) was calculated from Landsat 8 images (2014 to 2020) for the general environment (EG) and the area of direct influence (AID) of the Totumo swamp (Piojón, Atlántico) using the Geographic Information System (ArcGIS 10.5). The vegetation cover for the period analyzed, both in the EG and in the AID, describes periods where the higher vegetal classification categories (NDVI value > 0.2), present a higher percentage of cover and periods when the lower classification categories (≤ 0.2) presenting a higher percentage of vegetation cover. The largest vegetation cover during the study period was presented for the year 2020; however, this increase in vegetation cover category 2, which found inside the body of water, suggests an increase in the sedimentation of the swamp that has been colonized by some type of vegetation with photosynthetic activity.

KEYWORDS: NDVI index, Totumo swamp, vegetation cover, meteorology.

¹ Orcid: 0000-0002-7545-9604. Exocol. Correo electrónico: pinzonvm@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras y los mares son componentes integrales y esenciales de la Tierra y se constituyen áreas críticas para la seguridad alimentaria global y para el bienestar económico de las naciones. En la zona costera (ZC) del Caribe de Colombia las lagunas costeras conforman un atributo exclusivo. Son ecosistemas de humedales estratégicos que constituyen por su oferta de bienes y servicios ambientales un reglón importante de la economía nacional, regional y local (Incoder-UJTL, 2011); (Ministero del Medio Ambiente, 2002). La habitan especies de fauna y flora de fundamental importancia ecológica, como el manglar, y los estadios primarios de múltiples especies marinas de interés ecológico, económico y social.

La ciénaga del Totumo se localiza en la ZC del departamento del Atlántico, pertenece administrativamente al municipio de Piojó.

La vegetación predominante es de especies de bosque seco tropical y muy seco tropical, además de vegetación de manglar (Invemar - CRA, 2007).

El uso de sistemas de información geográfica (SIG) facilita el análisis de imágenes de la superficie terrestre generadas por sensores remotos (Manrique, 1999). Se conocen como sensores remotos los dispositivos que permiten obtener desde gran distancia imágenes de la Tierra que pueden usarse con fines meteorológicos, oceanográficos, militares, agroecológicos, entre otros.

Landsat 8 es una plataforma estadounidense de observación de la Tierra lanzada el 11 de febrero de 2013. Es el octavo satélite del programa Landsat, el séptimo en alcanzar la órbita con éxito. Originalmente llamada Landsat Data Continuity Mission, es una colaboración entre la NASA y el Servicio Geológico de los

Tabla 1. Bandas del satélite Landsat 8.

Sensor	Espectro	Radiación
Banda 1	Visible	(0.43 – 0.45 μm) 30 m
Banda 2	Visible	(0.450 – 0.51 μm) 30 m
Banda 3	Visible	(0.53 – 0.59 μm) 30 m
Banda 4	Rojo	(0.64 – 0.67 μm) 30 m
Banda 5	Infrarrojo cercano	(0.85 – 0.88 μm) 30 m
Banda 6	SWIR 1	(1.57 – 1.65 μm) 30 m
Banda 7	SWIR 2	(2.11 – 2.29 μm) 30 m
Banda 8	Pancromática (PAN)	(0.50 – 0.68 μm) 15 m
Banda 9	Cirrus	(1.36 – 1.38 μm) 30 m

Fuente: (USGS , 2020)

Estados Unidos (USGS, 2020). Landsat 8 está equipado con sensores que le permiten capturar radiaciones en nueve bandas espectrales, incluida una banda pancromática (Tabla 1).

Los productos de datos creados a partir de escenas Landsat 8 OLI / TIRS están disponibles para descargar desde EarthExplorer, GloVis y LandLook Viewer (USGS , 2020).

En teledetección es básico que la relación entre las bandas del infrarrojo cercano y del rojo constituyan una prueba de comprobación del vigor de la vegetación o, por el contrario, su débil vitalidad (Manrique, 1999).

Existen diversas metodologías para estudiar mediante imágenes satelitales los cambios estacionales que ocurren en la vegetación; uno

de ellos es la aplicación de índices vegetativos relacionados con el verdor (Chuvieco, 1998). El más utilizado es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Lorant, Davydov, Kropp, Alexander, Mack, Natali y Zimov, 2018) (Rueda Calier, Peñaranda Mallungo, Velásquez Vargas, & Díaz Báez, 2015). Este se expresa como la diferencia de la suma de las

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (\text{Ecu. 1})$$

Donde,

NIR: Banda infrarrojo cercano; RED: Banda Rojo

En la práctica los valores que están por debajo de 0.1 corresponden a los cuerpos de agua y a la tierra desnuda; mientras que los valores más altos son los indicadores de la actividad fotosintética de las zonas de matorral, el bosque templado, la selva y la actividad agrícola (Meneses-Tovar, 2011).

La clasificación supervisada es un proceso en el que el usuario selecciona en la imagen digital muestras representativas para cada clase de cobertura terrestre. Estos ejemplos de clases de cobertura terrestre se denominan datos de formación. La clasificación de la cobertura terrestre se basa en una firma espectral definida en el conjunto de entrenamiento. El software para la clasificación de imágenes digitales determina en qué se parece cada clase respecto de la mayoría en el conjunto de capacitación. En la clasificación supervisada las imágenes NDVI se categorizan en ciertas clases, según el valor NDVI (Taufik, Sayed Ahmad, & Ahmad, 2017)

La pérdida de la cobertura vegetal es una problemática intensa que afecta a nivel global los ecosistemas forestales. La disminución de la cobertura de los bosques y manglares representa un desbalance para la dinámica de gases atmosféricos, entre otros muchos aspectos de la vida en la Tierra. La pérdida de la cobertura vegetal impacta de manera significativa el turismo, rama económica fuertemente afectada por la pandemia del Covid-19 en Colombia, ya que deteriora el entorno paisajístico de un entorno natural emblemático como la ciénaga del Totumo en el departamento del Atlántico (Colombia).

El presente trabajo tiene por objetivo hacer una caracterización de la dinámica de la cobertura vegetal durante la temporada seca en el entorno general (EG) y el área de influencia directa (AID)

bandas infrarroja cercana y roja normalizada; los valores resultantes oscilan entre -1 a 1, que va desde la ausencia de vegetación hasta una vegetación vigorosa, respectivamente (Abaurrea Pereda, 2013, en: (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2018); su fórmula es la siguiente:

de la ciénaga del Totumo (Piojó, Atlántico). Se pretende obtener información pertinente que fortalezca la búsqueda de estrategias para el mejoramiento del ecosistema forestal en el EG y AID del cuerpo de agua.

ÁREA DE ESTUDIO

La ciénaga del Totumo

La ciénaga del Totumo se ubica en el extremo sur del departamento del Atlántico, a 10°45' N, 75°15' W y tiene un área de 1698.7 ha (Fig. 1). Es una laguna costera que almacena las aguas de escorrentía de arroyos procedentes del Atlántico y Bolívar (Alcaldía Municipal de Piojó, 2001; Estudios y Asesorías Ltda., 2003, En: Invemar - CRA, 2007).

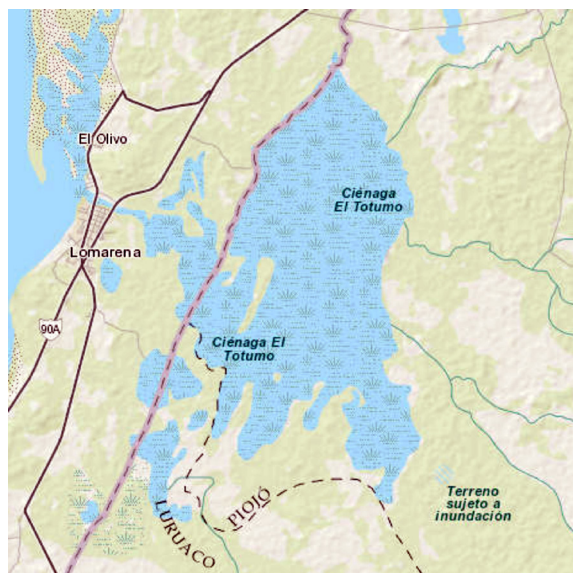


Figura 1. Área de estudio, ciénaga del Totumo (Piojó, Atlántico).

Se encuentra comunicada con el mar por una pequeña boca de unos 20 m de ancho, la cual actualmente está regulada por una bocatoma, por esto sus aguas son dulces (Invemar, 2005). El Totumo presenta valores de salinidad promedio de 0.1 % a 2 %, por lo que se considera un cuerpo de agua dulce (Instituto Colombiano de Desarrollo Rural y Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2011).

La ciénaga se encuentra sometida a la influencia marina por estar próxima a la costa, acentuándose más por la acción de los vientos dominantes, los Alisos del Nordeste, un sistema altamente constante durante el año (Estudios y Asesorías Ltda., 2003). En: (Invemar - CRA, 2007).

En el área de El Totumo la red de drenaje es de tipo anular hacia la ciénaga y dendrítica en los lomeríos circundantes. Se aprecian regímenes hídricos especiales asociados a los arroyos y a la presencia de la ciénaga, las corrientes de agua son cursos esporádicos donde el modelado de las orillas es de barrancos, lo que explica la profundidad de los cauces y la temporalidad de las corrientes, como en el caso del arroyo Cascabel al oriente de la ciénaga.

Las principales corrientes que drenan a la ciénaga son:

1. Las maravillas
2. Chiquito
3. Tumbacaballo o Ronco
4. Tamarindo-Tinajas
5. Mapaisero
6. Arena
7. Sabana Clemente
8. La Lata
9. Calabrisa
10. El Totumo
11. Roberto
12. Perdiz, entre otros.

Toda la red hidrográfica de la ciénaga confluye a la vertiente del mar Caribe por el arroyo Uvero que alimenta en aguas altas la ciénaga de La Redonda, formada en la espiga de Galerazamba (Estudios y Asesorías Ltda., 2003) En: (Invemar - CRA, 2007).

La vegetación reportada para la zona de la ciénaga del Totumo corresponde a vegetación arbustiva y arborea de bosque seco tropical y matorral espinoso muy seco (Invemar - CRA, 2007) y manglar (Invemar - CRA, 2007) Villate Daza, Sánchez Moreno, Portz, Portantiolo Manzolli, Bolívar-Anillo y Anfuso, 2020).

Bosque seco tropical y matorral espinoso muy seco. Predominan los suelos salinos y aluviales, donde crecen plantas xerófilas en asociación con árboles y arbustos espinosos. La especie representativa de este tipo de bosque es el trupillo (*Prosopis juliflora*). Otras especies representativas son el aramo (*Acacia farnesiana*), algodón de seda (*Calotropis procera*), uvito (*Cordia dentata*), naranjuelo (*Caparis adoratissima*), (Ecoforest Ltda., 1996; Alcaldía Municipal de Tubará, 2001).

Manglar. Según Villate Daza *et al.* (2020), el manglar de la ciénaga del Totumo se degradó en el período de 2013 a 2018, con una pérdida de alrededor de 33 ha (Fig. 2). La disminución se observó principalmente en el lado oriental, mientras que el lado occidental mostró solo un pequeño aumento asociado con el crecimiento de mangle en las lagunas en la división de Galerazamba. La reducción general de la cubierta de manglar estuvo indudablemente relacionada con la pérdida de intercambio de agua con el mar Caribe. Esto convirtió la ciénaga del Totumo en un ecosistema de agua dulce, en el que hoy en día el agua se utiliza principalmente para actividades agrícolas y ganaderas.

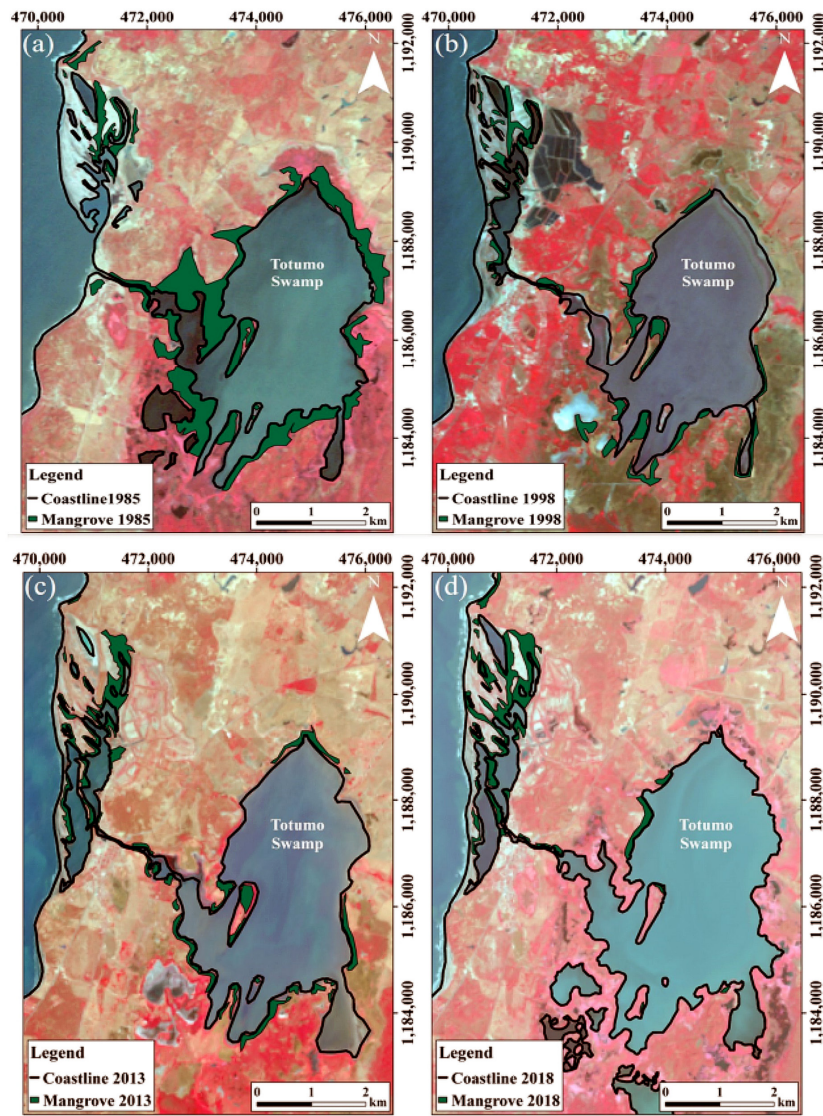


Figura 2. Evolución del bosque de manglar (verde) en la ciénaga del Totumo. **a.** 1985, **b.** 1998, **c.** 2013, y **d.** 2018. [Fuente: (Villate Daza, y otros, 2020)].

La ciénaga ha sufrido alteraciones y deterioro ambiental como resultado de la intervención de caños y arroyos que la alimentan, y la tala de los bosques de manglar, entre otros factores, con aparente aumento en la sedimentación, reducción de los caudales y contaminación por vertimiento de aguas servidas y productos de desechos, habiéndose registrado ya la muerte de peces (Estudios y Asesorías Ltda., 2003).

METODOLOGÍA

Se estimó la cobertura vegetal en el EG y el AID de la ciénaga del Totumo mediante el cálculo del NDVI de imágenes del satélite Landsat 8. El

área del polígono creado para la extracción del porcentaje de las coberturas vegetales en el EG de la ciénaga del Totumo fue de 10 341 ha y para el AID fue de 2 003 ha. La estimación del índice NDVI se realizó siguiendo un proceso secuencial, utilizando el sistema de información geográfica ArcGIS 10.5.

La Tabla 2 contiene el listado de las imágenes Landsat 8 disponibles y que fueron procesadas con el cálculo del NDVI. Sin embargo, debido a la falta de información para lograr la serie anual se trabajó con el periodo que comprende la época seca en el Caribe colombiano (Dic.-Abr.) (Tabla 3).

Tabla 2. Imágenes Landsat 8 disponibles y que fueron procesadas con el cálculo del NDVI.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2014	24/01/ /2014	25/02/ /2014	29/03/ /2014	14/04/ /2014			3/07/ /2014			23/10/ /2014	24/11/ /2014	26/12/ /2014
2015	11/01/ 2015	12/02/ 2015	16-03- 2015		03/05/ 2015						27-11- 2015	29-12- 2015
2016	14/01/ 2016	15/02/ 2016	2/03/ 2016	19-04- 016	21/05/ 2016			7/08/ 2016	8/09/ 2016			15/12/ 2016
2017	16/01/ 2017	3/02/ 2017	5/03/ 2017	6/04/ 2017			27/07/ 2017				16/11/ 2017	
2018		04/02/ 2018		09/04/ 2018								05/12/ 2018
2019	22-01- 2019	7/02/ 2019	11/03/ 2019	12/04/ 2019				08/02/ 2019				11/12/ 2019
2020	9/01/ 2020		13/03/ 2020				9/07/ 2020				21/11/ 2020	

Tabla 3. Fechas de las imágenes satelitales seleccionadas para el estudio de la dinámica de la vegetación en el EG y el AID de la ciénaga del Totumo.

	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
2014		24/01/2014	25/02/2014	29/03/2014	14/04/2014
2015	26/12/2014	11/01/2015	12/02/2015	16/03/2015	
2016	29/12/2015	14/01/2016	15/02/2016	2/03/2016	19/04/016
2017	15/12/2016	16/01/2017	3/02/2017	5/03/2017	6/04/2017
2018			04/02/2018		09/04/2018
2019	05/12/2018	22/01/2019	7/02/2019	11/03/2019	12/04/2019
2020	11/12/2019	9/01/2020		13/03/2020	

Las hectáreas bajo cobertura vegetal fueron clasificadas según el valor del NDVI. El índice NDVI oscila entre -1 a 1, de esta manera se asignaron categorías de valor siguiendo rangos

de valor de 0.1. Los valores negativos hasta el valor 0.1 no fueron considerados en el estudio por corresponder a cuerpos de agua y suelo desnudo desprovisto de vegetación (Tabla 4).

Tabla 4. Estimación de la cobertura vegetal saludable en la ciénaga del Totumo por categorías.

Categoría	Rango	Descripción
1	-1 - 0.1	Suelo desnudo
2	0.11 - 0.2	Suelo desnudo
3	0.21 - 0.3	Vegetación escasa baja hidratación
4	0.31 - 0.4	Vegetación escasa moderadamente hidratada
5	0.41 - 0.5	Vegetación escasa moderadamente hidratada
6	0.51 - 0.6	Vegetación escasa moderadamente hidratada
7	0.61 - 0.7	Vegetación densa hidratada
8	0.71 - 0.8	Vegetación densa hidratada
9	0.81 - 0.9	Vegetación densa saludable
10	0.91 - 1	Vegetación densa saludable

Con la interpretación de la dinámica de la cobertura vegetal en la época seca, siguiendo este esquema se espera obtener en su orden:

1. Estimación de las hectáreas bajo cobertura vegetal total en el EG y el AID durante la época seca en la ciénaga del Totumo para los años 2014 a 2020.
2. Estimación del porcentaje de cobertura vegetal total en el EG y el AID durante la época seca en la ciénaga del Totumo para los años 2014 a 2020.
3. Estimación de las hectáreas bajo cobertura vegetal por categoría de clasificación NDVI durante la época seca en el EG y el área AID de la ciénaga del Totumo para los años 2014 a 2020.
4. Estimación del porcentaje de cobertura vegetal por categoría de clasificación NDVI durante la época seca en el EG y el AID de la ciénaga del Totumo para los años 2014 a 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, la cobertura vegetal representada en ha/año según el valor NDVI calculado de imágenes Landsat 8 de la ciénaga del Totumo tiende a permanecer dentro del rango de 8 200 ha a 8 600 ha (Tabla 5), que corresponde entre el 79 % al 83 % del área del EG con algún tipo de vegetación (Tabla 6). En el AID las hectáreas bajo cobertura vegetal oscilaron entre 1 000 ha y 1 150 ha (Tabla 5), que corresponde entre el 50 % al 58 % del área del AID con algún tipo de vegetación (Tabla 6).

Tabla 5. Hectáreas bajo cobertura vegetal/mes durante la época seca.

	Dic.		Ene.		Feb.		Mar.		Abr.	
	EG	AID	EG	AID	EG	AID	EG	AID	EG	AID
2014			8696.23	1178.44	8663.66	1178.09	8656,14	1183.99	8216.52	1174.69
2015	8703.81	1188.46	8702.81	1186.19	8718.35	1196.40	8674.06	1193.76		
2016	8738.81	1246.35	8673.53	1245.890874	8431.40	1144.67	8011.32	1080.76	8282.71	1123.47
2017	8338.27	1008.67	8273.29	997.44	8359.92	1015.38	8318.34	1009.59	8006.69	1040.18
2018					8384.54	986.88			8365.63	961.30
2019	8465.84	1016.51	8366.00	944.540	8329.52	930.81	8207.07	928.50	8265.87	943.44
2020	8713.64	1227.95	8909.95	1353.73			8553.65	1395.35		

Tabla 6. Porcentaje de cobertura vegetal/mes durante la época seca en el EG el AID.

	Dic.		Ene.		Feb.		Mar.		Abr.	
	EG	AID	EG	AID	EG	AID	EG	AID	EG	AID
2014			84.09	58.82	83.78	58.81	83.71	59.10	79.46	58.64
2015	84.17	59.32	84.16	59.21	84.31	59.72	83.88	59.59		
2016	84.51	62.21	83.88	62.19	81.53	57.14	77.47	53.95	80.10	56.08
2017	80.63	50.35	80.00	49.79	80.84	50.68	80.44	50.39	77.43	51.92
2018					81.08	49.26			80.90	47.98
2019	81.87	50.74	80.90	47.15	80.55	46.46	79.36	46.35	79.93	47.09
2020	84.26	61.29	86.16	67.57			76.91	39.70		

El promedio mensual multianual (2014-2020) del porcentaje de cobertura vegetal, tanto en el EG como en el AID, presenta máximos durante

el mes de enero, al inicio de la época seca, y mínimos en los meses de abril (EG) y marzo (AID) (figuras 3 y 4).

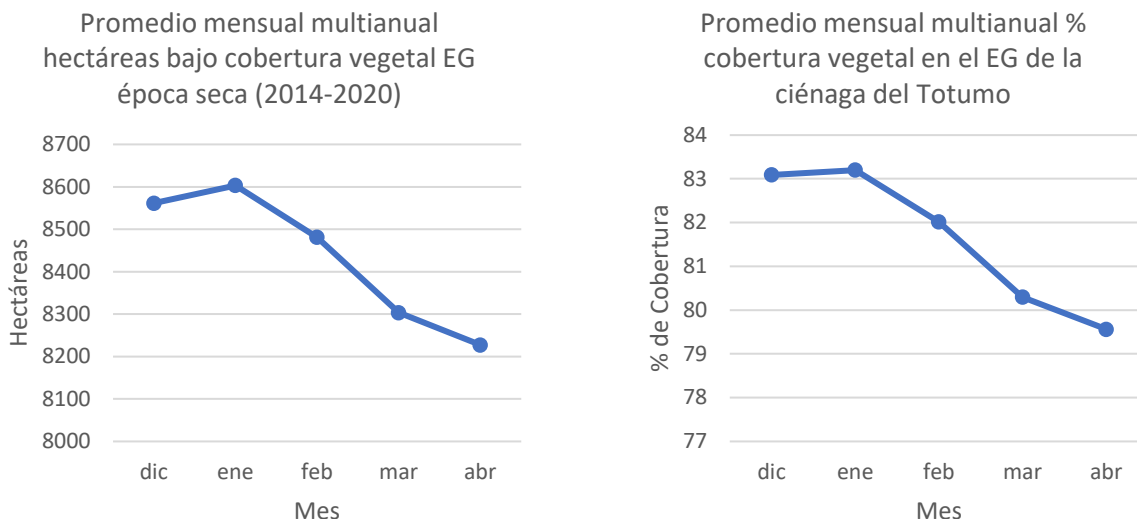


Figura 3. Promedio mensual multianual hectáreas bajo cobertura vegetal y promedio mensual multianual del % cobertura vegetal en el EG de la ciénaga del Totumo (Piojó, Atlántico).

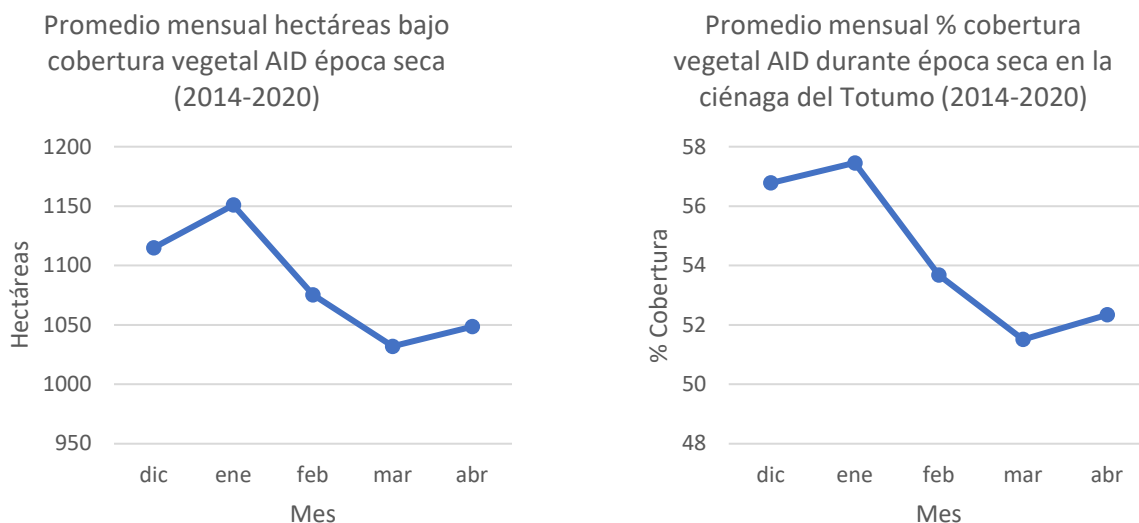


Figura 4. Promedio mensual multianual de hectáreas bajo cobertura vegetal en el AID y cobertura con vegetación total por año en el AID de la ciénaga del Totumo.

Según el promedio anual, la mayor área de cobertura vegetal en el EG y el AID de la ciénaga del Totumo se presentó para febrero de 2015 (8 718 ha y 1 205 ha), con el 84.31 % del EG y el 11.07 % del AID con algún tipo de vegetación. El año que presentó menor

área de cobertura vegetal en el EG fue 2017 (8 239 ha), con el 79.9 % del área general con algún tipo de vegetación (Fig. 5). El AID presentó durante 2019 el menor valor de cobertura vegetal, con 936 ha y un porcentaje de cobertura de 9.1 % (Fig. 6).

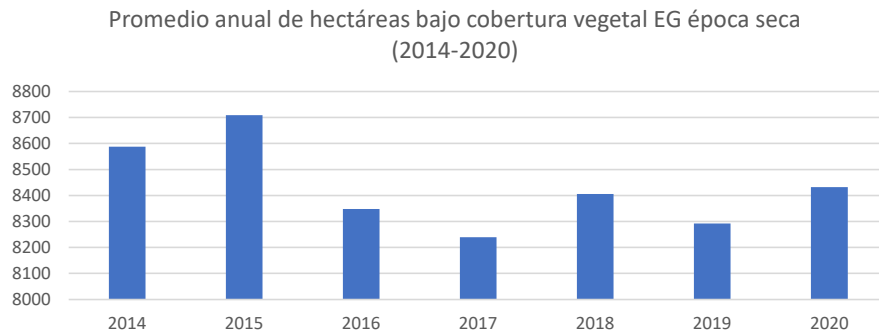


Figura 5. Promedio anual de hectáreas con vegetación en el entorno general de la ciénaga del Totumo (Piojó, Atlántico).

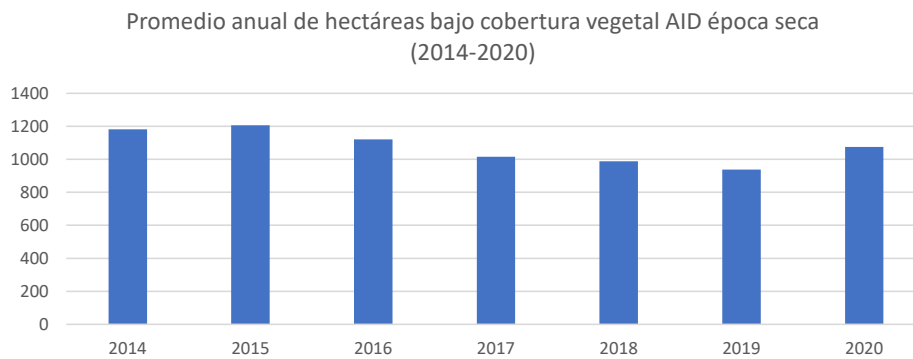


Figura 6. Promedio anual de hectáreas con vegetación en el entorno general de la ciénaga del Totumo (Piojó, Atlántico).

La vegetación responde de acuerdo con las inclemencias del clima (Duval, Benedetti, & Campo, 2015). El Fenómeno de El Niño generó aumento en la temperatura del planeta durante el periodo 2015-2016 (Copernicus Climate Change Service, 2020). Para la zona de la ciénaga del Totumo el promedio multianual de la temperatura media presentó periodos de temperatura máxima consecutivos durante los años 2014, 2015 y 2016 (Fig. 7). El efecto del aumento de la temperatura

por la anomalía climática de El Niño sobre la cobertura vegetal en la ciénaga del Totumo se reflejó en la disminución de todas las categorías de clasificación, según el valor del índice NDVI calculado para 2016 y la disminución de la cobertura vegetal total para 2017. La escasez del recurso agua durante periodos de sequía prolongados produce la muerte de la vegetación, al ser un factor limitante para el desarrollo de esta en los ecosistemas naturales.

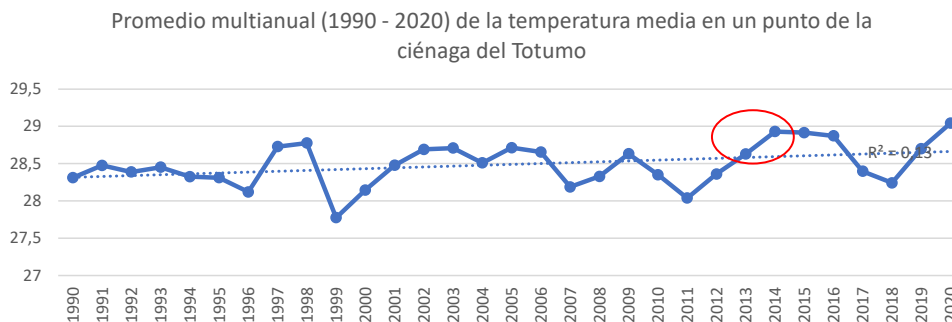


Figura 7. Promedio multianual de la temperatura media (máx.-min.) para un punto en la ciénaga del Totumo (Piojó, Atlántico).

En las tablas 7 y 8 se presentan las áreas de cobertura vegetal, tanto en el EG como en el AID en la ciénaga del Totumo, obtenidas de la clasificación por categorías del valor NDVI calculado, a cada una de las imágenes Landsat 8 descargadas correspondientes a los años 2014 a 2020.

Tabla 7. Hectáreas de cobertura de acuerdo con categoría de clasificación para el EG en la ciénaga del Totumo.

	Categoría	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
2014	EG-		24/01/2014	25/02/2014	29/03/2014	14/04/2014
	2		16.0642	44.8356	50.9642	57.9669
	3		45.5218	25.9921	20.2252	18.8159
	4		20.1597	12.4628	11.5906	2.6728
	5		2.3228	0.4884	0.9268	
	6		0.0260	0.0005		
2015	EG-	26/12/2014	11/01/2015	12/02/2015	16/03/2015	
	2	2.9789	3.869	7.4700	40.7161	
	3	10.3073	18.5763	45.6123	29.7746	
	4	30.6418	41.3081	28.6739	13.0469	
	5	38.2234	20.1994	2.5456	0.3425	
	6	2.0164	0.2050	0.0066		
	7					
2016	EG-	29/12/2015	14/01/2016	15/02/2016	2/03/2016	19-04-016
	2	27.5909	39.6399	63.6100	69.1625	70.7613
	3	36.7155	37.0856	17.2630	7.9392	8.8188
	4	19.4321	6.9298	0.6206	0.3536	0.4531
	5	0.7671	0.21974115	0.0399	0.0160	0.0624
	6	0.0005				
2017	EG-	15/12/2016	16/01/2017	3/02/2017	5/03/2017	6/04/2017
	2	6.2020	8.5768	13.0022	29.3120	28.2957
	3	13.1444	27.7555	41.3861	36.7100	38.4698
	4	31.5307	38.0900	24.0780	12.9074	9.7210
	5	29.1665	5.4591	2.2866	1.4743	0.9400
	6	0.5894	0.1232	0.0894	0.0364	

2018	EG-			2/04/2018		9/04/2018
	2			7.2788		22.6522
	3			32.8287		44.0126
	4			32.8281		10.9997
	5			7.9070		3.1737
	6			0.2378		0.0593
2019	EG-	5/12/2018	22/01/2019	7/02/2019	11/03/2019	12/04/2019
	2	6.8509	13.2615	34.4642	49.6622	36.3357
	3	18.7738	43.3442	35.5927	23.1509	34.8207
	4	36.9175	21.3714	10.1379	6.3425	7.3345
	5	19.1767	2.9005	0.3536	0.2086	1.4410
	6	0.1423	0.0235			0.0008
	7	0.0052				
2020	EG-	11/12/2019	9/01/2020		13/03/2020	
	2	6.9663	9.2653		66.5170	
	3	10.0873	32.1717		14.8381	
	4	17.0941	34.6633		1.3492	
	5	32.6141	9.8767		0.0114	
	6	17.4879	0.1842			
	7	0.0131				

Tabla 8. Hectáreas de cobertura de acuerdo con la categoría de clasificación para el AID en la ciénaga del Totumo.

	Categoría	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
2014	AID		24/01/2014	25/02/2014	29/03/2014	14/04/2014
	2		5.5050	12.7064	15.6957	28.8569
	3		19.8430	17.7307	14.8126	27.1909
	4		27.6843	26.6726	25.3920	2.5880
	5		5.6775	1.6922	3.1994	
	6		0.1130	0.0030		
2015	AID	26/12/2014	11/01/2015	12/02/2015	16/03/2015	
	2	3.5541	3.8535	5.2047	12.8769	
	3	9.7351	11.9248	18.3216	20.6655	
	4	24.2496	28.0343	30.0306	25.2766	
	5	20.6572	15.0507	6.1489	0.7685	
	6	1.1267	0.3462	0.0134		

2016	AID	29/12/2015	14/01/2016	15/02/2016	2/03/2016	19-04-016
	2	25.3695	31.0652	46.5265	49.7698	52.2833
	3	24.2662144	24.5005	10.1106	4.1135	3.7547
	4	11.2360	6.1740	0.5001	0.0638	0.0407
	5	1.3403	0.4496			
2017	AID	15/12/2016	16/01/2017	3/02/2017	5/03/2017	6/04/2017
	2	7.9014	7.5451	8.5094	10.0809	9.0874
	3	11.3130	16.3372	20.1226	20.6225	23.1319
	4	16.9682	20.5393	17.4158	14.8297	16.3654
	5	13.7112	4.8006	4.2278	4.6919	3.3368
	6	0.4545	0.5657	0.4077	0.1694	
2018	AID			2/04/2018		9/04/2018
	2			4.6624		8.3986
	3			10.4452		20.0718
	4			21.2510		13.7492
	5			12.4092		5.6030
	6			0.4928		0.1614
2019	AID	5/12/2018	22/01/2019	7/02/2019	11/03/2019	12/04/2019
	2	5.6533	5.4986	11.6896	18.4813	13.6085
	3	9.1381	15.2681	17.5572	16.5375	18.7782
	4	21.7550	19.9320	16.7213	11.1194	11.6319
	5	14.0876	6.4485	0.4940	0.2087	3.0695
	6	0.1056				0.0044
2020	AID	11/12/2019	9/01/2020		13/03/2020	
	2	9.5521	16.1314		48.6238	
	3	8.0591	12.4328		17.0660	
	4	14.0109	20.3450		3.9315	
	5	20.5681	18.1431		0.0288	
	6	9.0708	0.5200			
	7	0.0329				

Según el NDVI, valores cercanos a +1 (0.8 - 0.9) describen bosques con la mayor densidad posible de hojas verdes, vegetación densa y abundante. Los lugares sin vegetación, nieve, arena, generalmente obtienen un valor NDVI muy bajo (< 0.1); la vegetación escasa, como los arbustos, y las praderas o los cultivos puede dar como resultado valores moderados de NDVI (0.2 a 0.5), y los valores altos (0.6 a 0.9) corresponden a vegetación densa como la que se encuentra en bosques tropicales y

los cultivos en su etapa de mayor crecimiento (USGS , 2020).

Durante los años 2014, 2016 y 2020 la distribución de las categorías de vegetación según su valor NDVI muestra la categoría 2 (rango de valor NDVI 0.11 - 0.2) como la de mayor cobertura en el EG, ocupando entre el ± 10 % y 40 % del EG, mientras que las categorías de vegetación mayor que 0.3 ocuparon entre el 0 % y el 20 % del área (Fig. 8).

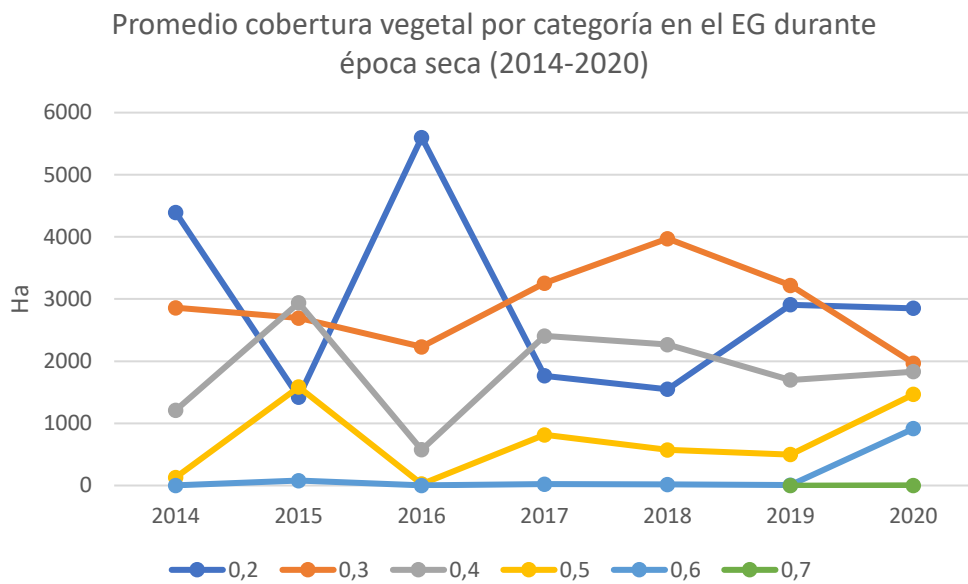


Figura 8. Cobertura de vegetación anual según categoría de clasificación de valor NDVI en el entorno general de la ciénaga del Totumo (Piojó, Atlántico).

El clúster de similitud presenta dos grupos principales: (i) por una parte se agrupan los años 2014 y 2016 con una similitud mayor al 80 %; (ii) en otro grupo se ubican los años 2020, 2019, 2018, 2017 y 2015. Dentro de este segundo grupo de clasificación el año 2020 se diferencia de los demás y se relaciona con el primer grupo en el sentido que la categoría 2 de calificación vegetal presenta la mayor cobertura al año y se diferencia de todos los demás años, ya que durante este año aumentó una categoría de clasificación (Fig. 9).

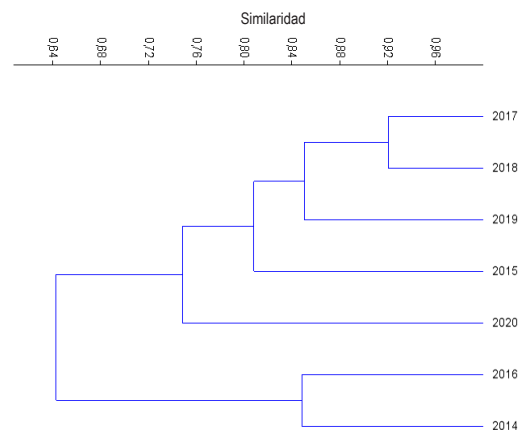


Figura 9. Clúster de similitud de Bray Curtis de acuerdo con los porcentajes de cobertura vegetal, según la categoría de clasificación para el entorno general en la ciénaga del Totumo.

El año 2016 presentó valores que contrastan con los demás años, con aumento de la cobertura vegetal de la categoría 0.2 (> 50 %) y disminución de las categorías de calificación en comparación con los demás años en estudio, así como la disminución del porcentaje de cobertura vegetal de las demás categorías de clasificación.

Se asumen condiciones ambientales adversas durante el año 2016 que originaron estrategias de adaptación vegetal, con la disminución de las coberturas vegetales de categorías superiores (0.4 a 1) y degradación hacia categorías menos desarrolladas de vegetación, como respuesta a un tensor climático en el área durante el año 2016.

La composición vegetal en el área de influencia directa de la ciénaga del Totumo durante el periodo de estudio describe patrones de distribución con mayor cobertura de vegetación categoría 4 (0.4) (Fig. 10); sin embargo, los años 2016 y 2020 presentan valores que se alejan del patrón normal de la distribución vegetal en el área y se reflejan en la matriz de similitud de Bray Curtis (Fig. 11). Estas variaciones de la distribución de la cobertura vegetal podrían reflejar condiciones adversas medioambientales que actúan como tensores que originan transición de la calidad o vigor de la vegetación en el área.

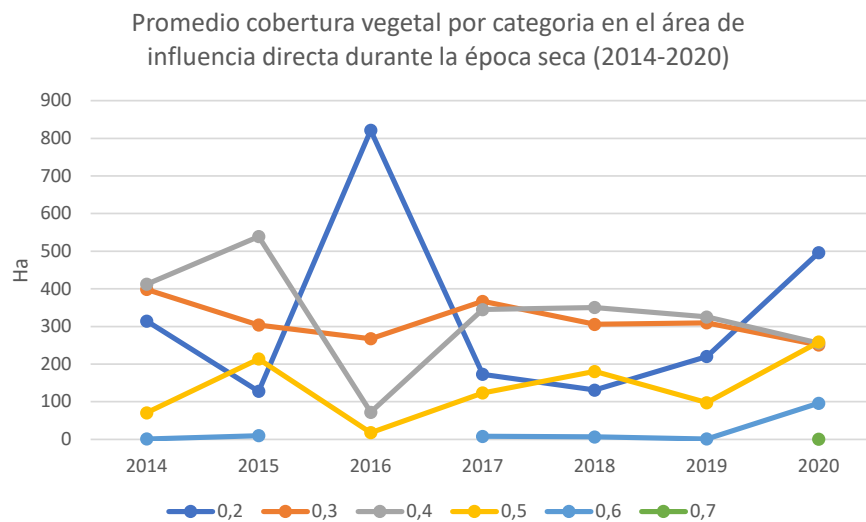


Figura 10. Cobertura de vegetación anual según categoría de clasificación de valor NDVI en el entorno general de la ciénaga del Totumo (Piojón, Atlántico).

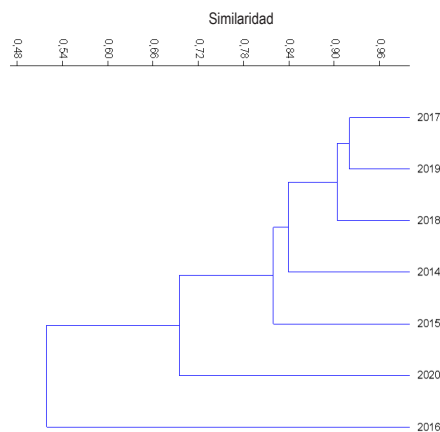


Figura 11. Clúster de similitud de Bray Curtis de los porcentajes de cobertura vegetal anual en la época seca en el AID de la ciénaga del Totumo, según categoría de clasificación.

CONCLUSIONES

El presente trabajo es una aproximación a la descripción de la dinámica de la vegetación (anual y multianual) durante la temporada seca en el entorno general (EG) y el área de influencia directa (AID) de la ciénaga del Totumo.

Según el dato promedio de la cobertura vegetal anual, durante la época seca (diciembre-abril), en el periodo analizado (2014-2020), en el EG y el AID de la ciénaga del Totumo durante el año 2015 se presentaron valores máximos de área bajo cobertura vegetal (8 718 ha y 1 205 ha), con el 84.31 % del EG, y el 11.07 % del AID con algún tipo de vegetación. El año que presentó menor área de cobertura vegetal en el EG fue el 2017 (8 239 ha), con el 79.9 % del área general con algún tipo de vegetación. En el AID, durante el año 2019, se presentó el menor valor de la cobertura vegetal con 936 ha y porcentaje de cobertura de 9.1 %.

El promedio mensual multianual (2014-2020) del porcentaje de cobertura vegetal durante la temporada seca (Dic.-Abr.), tanto en el EG como en el AID, presentó máximos durante enero, al inicio de la época seca, y mínimos en abril (EG) y marzo (AID), meses que marcan el final de la temporada seca e inicio de la época de lluvia menor en el Caribe colombiano.

Se asume que durante condiciones ambientales adversas, como las presentadas durante eventos El Niño (El Niño 2015-2016), la vegetación en el área de estudio se adapta a las condiciones ambientales con la degradación de las coberturas vegetales de categorías superiores (0.4 a 1) hacia categorías menos desarrolladas o primarias de vegetación.

El aumento de la cobertura del rango para la categoría de suelo desnudo observado para la imagen Landsat respectiva de marzo del año 2020, al interior del cuerpo de agua de la ciénaga del Totumo, permite sugerir el aumento de la sedimentación al interior del cuerpo de agua durante la época seca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abaurrea Pereda, M. (2013). *Comparación de índices de vegetación en zona semiárida de Navarra. Trabajo de fin de carrera. Universidad Pública de Navarra.*

Alcaldía Municipal de Piojó. (2001). Esquema de ordenamiento territorial del municipio de Piojó.

Alcaldía Municipal de Tubará. (2001). Esquema de ordenamiento territorial del municipio de Tubará.

Chuvieco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de Teledetección*; 10: 1-9.

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2018). *Protocolo para la generación de múltiples índices de vegetación a partir de mosaicos satelitales del sensor LANDSAT.*

Ecoforets Ltda. (1996). *Plan de Manejo Ambiental del Departamento del Atlántico.*

Estudios y Asesorías Ltda. (2003). *Estudio Hidráulico de la ciénaga El Totumo.* Informe final. 170 p.

Instituto Colombiano de Desarrollo Rural-Universidad de Bogotá "Jorge Tadeo Lozano". (2011). *Plan de Manejo y Ordenación Pesquera del Humedal Ciénaga del Totumo (Bolívar - Atlántico).* Incoder-UJTL. Cartagena de Indias.

Instituto de Investigaciones Científicas Marinas "José Benito Vives de Andrés". (2005). *Actualización y ajuste del diagnóstico y zonificación de los manglares de la zona costera del departamento del Atlántico.* Invemar. Caribe colombiano. Santa Marta, Colombia.

Instituto de Investigaciones Científicas Marinas "José Benito Vives de Andrés"-Corporación Autónoma Regional-Corporación Autónoma Regional del Atlántico. (2007). *Ordenamiento ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico. Santa Marta.* Invemar-CRA.

Loranty, M.; Davydov, S. P.; Kropp, H.; Alexander, H.; Mack, M. C.; Natali, S. M.; Zimov, N. S. (2018). Los índices de vegetación no capturan la variación de la cubierta forestal en los bosques de alerces siberianos de las tierras altas. *Teleobservación* 10 (11). <https://doi.org/10.3390/rs10111686>

Manrique, E. (1999). *Índice de vegetación.* Aplicación del NDVI. 217-219. España.

Meneses-Tovar, C. L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasylva* 238, Vol. 62. Rueda Calier, F.; Peñaranda Mallungo,

- L. A.; Velásquez Vargas, W. L.; Díaz Báez, S. A. (2015). Aplicación de una metodología de análisis de datos obtenidos por percepción remota orientados a la estimación de la productividad de caña para panela al cuantificar el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). *Corpoica*, Vol. 16, No. 1. https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:377
- Servicio de Cambio Climático de Copernicus. (21 de 10 de 2020). El Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S) confirma: las temperaturas de julio de 2019 están a la par con el mes más cálido registrado. <https://climate.copernicus.eu/copernicus-climate-change-service-c3s-confirms-july-2019-temperatures-par-warmest-month-record>
- Taufik, A.; Sayed Ahmad, S. S.; Ahmad, A. (2017). Clasificación de los datos satelitales Landsat 8 utilizando umbrales NDVI. *Revista de Ingeniería de Telecomunicación, Electrónica e Informática*, 37-40. <https://doi.org/10.1145/3036290.3036330>
- Villate Daza, D. A.; Sánchez Moreno, H.; Portz, L.; Portantiolo Manzolli, R.; Bolívar-Anillo, H. J.; Anfuso, G. (2020). Evolución y amenazas de los manglares en el Mar Caribe de Colombia. *Agua*. <https://doi.org/10.3390/w12041113>
- USGS (18 de septiembre de 2020). *Landsat Missions*. https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con