
El paisaje de las llanuras eólicas venezolanas.

Parque Nacional Santos Luzardo como caso de estudio

The landscape of the Venezuelan Aeolian Plains.
Santos Luzardo National Park as a case study

Georgina Navarro-González¹

Anderson Albarrán²

Eulogio Chacón-Moreno^{1,3}

1 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias
Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Postgrado en Ecología Tropical, Mérida, Venezuela

2 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales
Escuela de Geografía, Mérida, Venezuela

1,3 Universitat de Lleida, Depto. Producción Vegetal y Ciencia Forestal, Lérida, España
ginavarrog@gmail.com; aalbarran9@gmail.com; eulogio.chacon@udl.cat

Navarro-González: <https://orcid.org/0000-0003-3340-3845>

Albarrán: <https://orcid.org/0000-0001-6723-2058>

Chacón-Moreno: <https://orcid.org/0000-0002-5837-5505>

Resumen

La conservación de la diversidad biológica y las estrategias de planificación y adaptación a los cambios globales requieren de información ecológica completa e integrada. Los reconocimientos ecológicos con base en los mapas de ecosistemas son una de las mejores herramientas conceptuales y metodológicas para el análisis de la información ecológica. Esta investigación tuvo como objetivo determinar la composición y configuración espacial del paisaje del Parque Nacional Santos Luzardo (PNSL) para el año 2018, a través del reconocimiento ecológico y el uso de herramientas geomáticas [imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG)]. Se elaboró el mapa de ecosistemas del PNSL identificando 21 ecosistemas. Con este estudio, se orientan las bases metodológicas hacia la clasificación de ecosistemas desde el enfoque de la ecología del paisaje, como herramienta de línea base para identificar los cambios de los ecosistemas y su conservación en el tiempo.

PALABRAS CLAVE: sabanas; reconocimiento ecológico; ecología del paisaje; conservación; teledetección.

Abstract

The conservation of biological diversity and the strategies for planning and adapting to global changes require complete and integrated ecological information. Ecological surveys based on ecosystem maps are one of the best conceptual and methodological tools for the analysis of ecological information. This research aims to determine the composition and spatial configuration of the landscape of the Santos Luzardo National Park (PNSL) for the year 2018, through ecological recognition and the use of geomatic tools –satellite images and Geographic Information Systems (GIS). The PNSL ecosystem map was prepared where 21 ecosystems were identified. With this study, the methodological bases are oriented towards the classification of ecosystems from the landscape ecology approach, as a baseline tool to identify changes in ecosystems and their conservation over time.

KEYWORDS: savannas; ecological recognition; landscape ecology; conservation; remote sensing.

1. Introducción

Los Llanos son una ecorregión principalmente asociada a la cuenca del río Orinoco y ecológicamente vinculada al bioma sabana. En Venezuela, es la extensión de mayor tamaño representativa de las sabanas neotropicales al norte de Suramérica con un área ~294.000 km² (Dinerstein *et al.*, 1995; Chacón-Moreno, 2007). Aunque a escala de ecorregión, las sabanas parecen ser homogéneas, a escala regional, se distinguen seis tipos de paisajes en las sabanas de Venezuela: sabanas de piedemonte, sabanas sobre mesas, planicies aluviales de desborde altas, sabanas inundables, llanuras eólicas y la depresión de Unare (Chacón-Moreno *et al.*, 2015). Estos paisajes se diferencian entre sí por su dinámica geomorfológica que determina la fertilidad de los suelos y la dinámica de acumulación de agua en el suelo, definiendo el funcionamiento y la fisonomía dominante de cada paisaje (Chacón-Moreno, 2007; Chacón-Moreno *et al.*, 2015).

El paisaje de llanuras eólicas en Venezuela representa el 21,5% de la ecorregión y puede considerarse como una isla entre los paisajes de planicies aluviales y de altillanuras o mesas, con pequeñas áreas en los llanos orientales de Colombia entre los ríos Arauca y Casanare. Dentro del paisaje de las llanuras eólicas venezolanas se encuentra el Parque Nacional Santos Luzardo al sur del estado Apure, creado con la finalidad de proteger y conservar ecosistemas únicos como los médanos entre los ríos Cinaruco y Capanaparo, el accidente geológico Galeras del Cinaruco, morichales, bosques de galería y ríos, que constituyen el hábitat de numerosas especies de fauna silvestre, siendo así el área protegida de mayor extensión de los llanos del Orinoco al ocupar 584.368 ha, que representan el 22,1% de la extensión total del paisaje de las llanuras eólicas (Navarro-González, 2020).

Para el área de estudio es importante determinar la diversidad de ecosistemas dentro del PNSL, y

el uso de herramientas de la geomática como las imágenes satelitales y los sistemas de información geográficos (SIG) facilitan la elaboración de mapas de ecosistemas. En este sentido, la geomática permite evaluar la estructura de los ecosistemas a través del análisis de la heterogeneidad del paisaje y sus patrones de distribución espacial, además, facilita estudiar aspectos funcionales como productividad, intercambio de energía y materia, fenología, entre otros, haciendo énfasis en la relación patrón-proceso del paisaje con temas ecológicos y ambientales a gran escala (Cabello y Paruelo, 2008; Chacón-Moreno *et al.*, 2013; Wu, 2013).

La construcción de mapas de ecosistemas parte de un reconocimiento ecológico, que consiste en el estudio preliminar de una determinada área, a partir del establecimiento de zonas homogéneas, detallando factores y procesos climáticos, geomorfológicos, edáficos y bióticos (Sarmiento *et al.*, 1971). Para la elaboración del mapa se utiliza la clasificación de Sistemas Ecológicos desarrollado por *Nature Serve*, que considera a los ecosistemas como unidades espaciales de análisis, caracterizados por su estructura, funcionamiento y ensamblaje o configuración espacial (estructura horizontal) dentro del paisaje (Josse *et al.*, 2009; Chacón-Moreno *et al.*, 2013). Por lo tanto, en esta investigación se planteó como objetivo determinar la composición y configuración espacial del paisaje del PNSL, siguiendo un enfoque desde la ecología del paisaje para la elaboración del mapa de ecosistemas del citado parque correspondiente al año 2018, a través del uso de herramientas geomáticas como las imágenes satelitales y los sistemas de información geográficos (SIG), permitiendo tener información de línea base para evaluar los impactos de los agentes de cambio sobre el paisaje de las llanuras eólicas y su diversidad.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El área de estudio (FIGURA 1) corresponde al paisaje de sabanas eólicas de los llanos del Orinoco venezolano, dentro del Parque Nacional Santos Luzardo. La extensión del área se sitúa entre los ríos Capanaparo al norte, Cinaruco al sur, Orinoco al este y los límites con el municipio Achaguas al oeste, abarcando una superficie total de 556.243,14 ha.

El clima es Tropical de sabana Aw (tropical macrotérmico-Köppen), (Köppen y Geiger, 1936), con una temperatura media anual de 27°C, y pocas variaciones en el año (Chacón-Moreno, 2007). La precipitación promedio anual varía entre 1.500 a 2.000 mm, incrementándose de norte a sur (Andressen y López, 2015). Presenta una estacionalidad de precipitaciones muy marcada, con un período de sequía entre diciembre y marzo con precipitaciones que no sobrepasan los 10 mm mensual, y un período de lluvias entre mayo y octubre, con precipitaciones que pueden llegar a los 300 mm mensual, siendo abril y noviembre meses de transición (Chacón-Moreno, 2007).

Desde el punto de vista geomorfológico, durante el período glacial Würm, condiciones climáticas más secas, desencadenaron procesos morfogenéticos eólicos en la parte sur de los llanos del Orinoco, generando como característica principal la presencia de dunas y otros depósitos eólicos (Chacón-Moreno, 2007). Esta área se distingue por poseer un relieve muy plano, interrumpido por los médanos eólicos, caños y el fenómeno geológico conocido como las Galeras del Cinaruco, que tuvo origen de las formaciones del macizo Guayanés, alcanzando una altitud de hasta 200 m.

En términos generales, el paisaje de las llanuras eólicas está dominado por las sabanas estacionales, los bosques de galería semidecíduos, y en menor medida, presenta otros tipos de sabana cuyas características se detallan en la TABLA 1 (Chacón-Moreno *et al.*, 2015). También destaca la presencia de los saladillales (*Caraipa llanorum*) un árbol bajo y resistente al fuego que se encuentra dominando en los bajíos sujetos a la influencia de la escorrentía superficial hacia los caños (Shargel, 2015).

FIGURA 1. Área de estudio en el contexto nacional e internacional.

- (a) Venezuela; en el recuadro rojo se destaca el estado Apure;
- (b) estado Apure; parte de la ecorregión Los Llanos y resaltado en rojo la ubicación relativa del PNSL;
- (c) paisaje de llanuras eólicas con el límite del PNSL en rojo

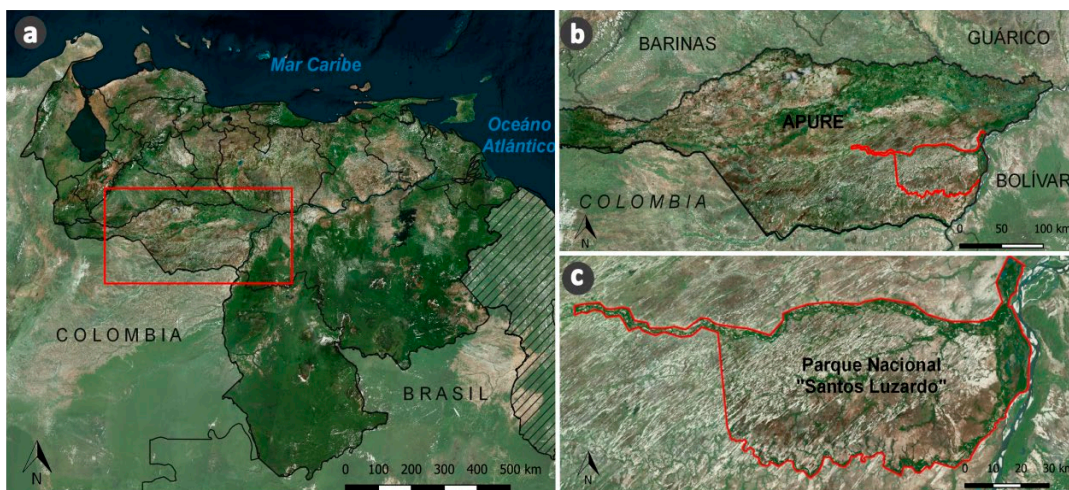


TABLA 1. Tipos de ecosistemas de las sabanas de Venezuela y sus principales características

Tipo de ecosistema de sabana	Principales características
Sabana estacional	Presenta dos estaciones hídricas en el suelo, una de déficit hídrico y una de disponibilidad de agua; se caracteriza por ubicarse en suelos bien drenados y formar pastizales donde dominan las gramíneas perennes en macolla de metabolismo C4
Sabana semiestacional	Posee dos condiciones hidrológicas en el suelo, una de disponibilidad de agua en la época de sequía y una de exceso de agua durante la época de lluvias, dominan las gramíneas y ciperáceas
Sabana hiperestacional	Presenta cuatro condiciones de agua en el suelo, una de déficit de agua que ocurre a finales de la época seca, una con agua disponible a inicios de la época de lluvias, una de exceso de agua en la mitad y fines de la época de lluvias y otra favorable con agua a inicios de la época seca, dominan las gramíneas de metabolismo C3, con pocas especies leñosas arbustivas

2.2 Reconocimiento ecológico del paisaje

Este reconocimiento se realiza en fases de ejecución, a saber: **a)** compilación de información espacial y no espacial del área de estudio, haciendo énfasis en la recolección de información geográfica, ecológica y biológica para elaborar la caracterización ecológica; **b)** procesamiento de la información espacial, y **c)** evaluación de campo, que consiste en la evaluación del reconocimiento ecológico, para posteriormente, elaborar el mapa final con su leyenda e informe (Chacón-Moreno *et al.*, 2013).

2.2.1 Compilación de información espacial y no espacial

- Se seleccionó la imagen del satélite LANDSAT 8 OLI, debido a la calidad de su resolución espacial 30 m y su resolución espectral de 9 bandas (path/row: 004/055, de fecha 17/02/2018, georreferencia preliminar UTM WGS 84); la fecha de la imagen corresponde al periodo de sequía de la región.
- Integración de clasificadores y estructuración de la leyenda de ecosistemas.

Para la definición y reconocimiento de los ecosistemas partimos de las características funcionales que determinan los mismos y de las características

geomorfológicas resaltantes de las sabanas eólicas. El clima, la infiltración de los suelos y la topografía plana, determinan una estacionalidad hídrica con diferentes periodos de disponibilidad de agua en el suelo que caracterizan el funcionamiento de los ecosistemas de la sabana (Sarmiento, 1983).

La integración de la información del mapa de ecosistemas sigue el enfoque multifactorial para la clasificación ecológica, donde múltiples índices clasificadores diagnóstico son evaluados y combinados de diversas formas para explicar la coexistencia espacial de las comunidades naturales (Josse *et al.*, 2003; Josse *et al.*, 2009). La definición de la clasificación de los ecosistemas para la clase bosques ribereños, se basó en su estructura y la clasificación bioclimática propuesta por Chacón-Moreno y Suárez (2020). Las áreas de sabana se diferenciaron en función a la estructura, disponibilidad de agua y paisaje geomorfológico (Sarmiento, 1983; Schargel, 2005; Chacón-Moreno, 2007; Ulloa, 2009). En la clase herbazal, se consideró su cobertura vegetal y la disponibilidad de agua en el suelo (Navarro-González, 2020).

2.2.2 Procesamiento de la información espacial

El procesamiento de la imagen se llevó a cabo utilizando el SIG QGis 3.0.1. Girona. Se utilizó la

Proyección Mercator Transversal UTM. Se procedió a confirmar la georreferencia previa de la imagen (UTM WGS 84/ 19N), empleando puntos del área de estudio por medio de una colección de datos obtenidos de mapas cartográficos del estado Apure, hojas 6436, 6435, 6537, 6536, 6535, 6636, 6637, 6635, 6736, 6737 y 6735 de Cartografía Nacional, escala 1:100.000.

Para la corrección atmosférica se empleó el modelo de Sustracción del Objeto Oscuro (DOS), (Chavez, 1988). Dadas las respuestas espectrales de la vegetación, se realizó la visualización de la imagen en falso color (FCC), considerando los criterios establecidos por Ulloa (2009) sobre la respuesta espectral de las coberturas vegetales en las sabanas de Apure; se utilizó la combinación de bandas RGB rojo (R) de la banda 4, infrarrojo cercano (IRC) correspondiente a la banda 5, y verde (V) correspondiente a la banda 3 para la combinación con falso color infrarrojo.

A partir de la imagen en falso color, se analizó la cobertura del suelo empleando el programa ERDAS IMAGINE 2011 para la creación del *signature editor* de cada clase identificada en el proceso de clasificación supervisada (Chuvienco, 2002). El muestreo de píxeles se realizó siguiendo los criterios planteados por Chacón-Moreno (2007).

Posteriormente, se utilizó el clasificador de máxima probabilidad (estadística paramétrica), obteniendo así *cluster* que fueron evaluados al observar la correspondencia con la imagen de satélite y determinando los posibles errores generados. Se realizó un proceso de filtrado de la clasificación obtenida para brindar una mayor homogeneidad (Paredes, 2018).

Los resultados obtenidos del proceso de clasificación y procesamiento fueron editados en formato vectorial. Se realizó una reclasificación de los ecosistemas resultados, tomando en cuenta aspectos como la posición geomorfológica de los ecosistemas y el origen del material parental

descritos en el mapa de paisajes geomorfológicos de los llanos del Orinoco (Shargel, 2005), con la finalidad de diferenciar los ecosistemas presentes según el tipo de paisaje, obteniendo así el mapa preliminar de ecosistemas.

2.2.3 Reconocimiento de campo y mapa final

La comprobación en campo del mapa preliminar de ecosistemas elaborado se realizó en un recorrido de 5 días en el área de estudio (del 17 al 21 de enero de 2019) tomando varias rutas entre las que destaca: la conexión Norte-Sur del Parque, desde el sector La Macanilla cerca del río Capanaparo al río Cinaruco, recorrido por zona suroeste del Parque hacia las Galeras del Cinaruco, y ruta sector oeste del Parque hacia la comunidad indígena de Piedra Azul, para reconocer los ecosistemas presentes en el área, definir sus límites, características y comprobar los puntos de chequeo establecidos previamente, utilizando para ello un navegador (GPS). Se procedió a tomar un total de 70 puntos de confirmación con el GPS con la finalidad de reconocer y verificar las categorías clasificadas en la imagen. Los ecosistemas de sabana por ser los más representativos del área fueron los más muestreados, seleccionando un total de 45 puntos.

2.2.4 Evaluación de la precisión del mapa

Se realizó una matriz de confusión (Meidinger, 2003). Se calcularon los índices globales, partiendo del porcentaje de acuerdo o precisión general (Pa), que resulta del cálculo del número de unidades clasificadas correctamente (diagonal de la matriz), dividido entre el número total de unidades consideradas. Los valores resultantes se encuentran en un intervalo [0, 1], cuando el resultado de dicha operación se acerque más a la unidad (1) significa que se ha obtenido una mejor clasificación (Congalton y Green, 2009).

Los resultados obtenidos del cálculo de la precisión del productor y del usuario se encuentran al procesar los resultados de la matriz de error (TABLA 2). La precisión del usuario para todos los ecosistemas fue superior al 50%, destacándose las clases como la sabana hiperestacional, sabana semiestacional y la sabana estacional arbolada al presentar valores de más del 80%. Los sistemas con menor precisión para el usuario resultaron ser el herbazal inundable con 50% y la sabana estacional con 61,5%. Por lo tanto, en términos generales, significa que la clasificación del mapa de ecosistemas es similar a lo muestreado con los puntos durante el recorrido de campo. Siguiendo con los cálculos de errores, los valores de precisión del productor se encuentran por encima del 65%, esto indica que la probabilidad de que un punto de referencia sea clasificado correctamente es mayor.

Los resultados obtenidos en la matriz de error (TABLA 2) permiten señalar que la precisión general del mapa de ecosistemas es de 80%, resultado confirmado con el valor del coeficiente de Kappa, que mostró una precisión considerable (0,758) acorde a los resultados del índice global.

3. Resultados

3.1 Ecosistemas del Parque Nacional Santos Luzardo

En el proceso de elaboración del mapa de ecosistemas, se logró definir y caracterizar 21 ecosistemas, de los cuales 19 representan ecosistemas terrestres, uno a sistemas intervenidos (agroecosistemas) y otro correspondiente a una clase de cobertura de la zona constituido por los cuerpos de agua (ecosistema acuático), (TABLA 3).

3.2 Mapa de ecosistemas del Parque Nacional Santos Luzardo

El mapa de ecosistemas resultante (FIGURA 2) muestra la predominancia de los ecosistemas de sabana intercalados de las dunas que en la imagen presentan un color blanco siguiendo su característica forma natural oblicuo, así como por los herbazales inundables representados por colores celeste, y flanqueado por los ríos Capanaparo al norte y Cinaruco al sur, que determinan la presencia de corredores de bosques ribereños los cuales se muestra en colores verdes.

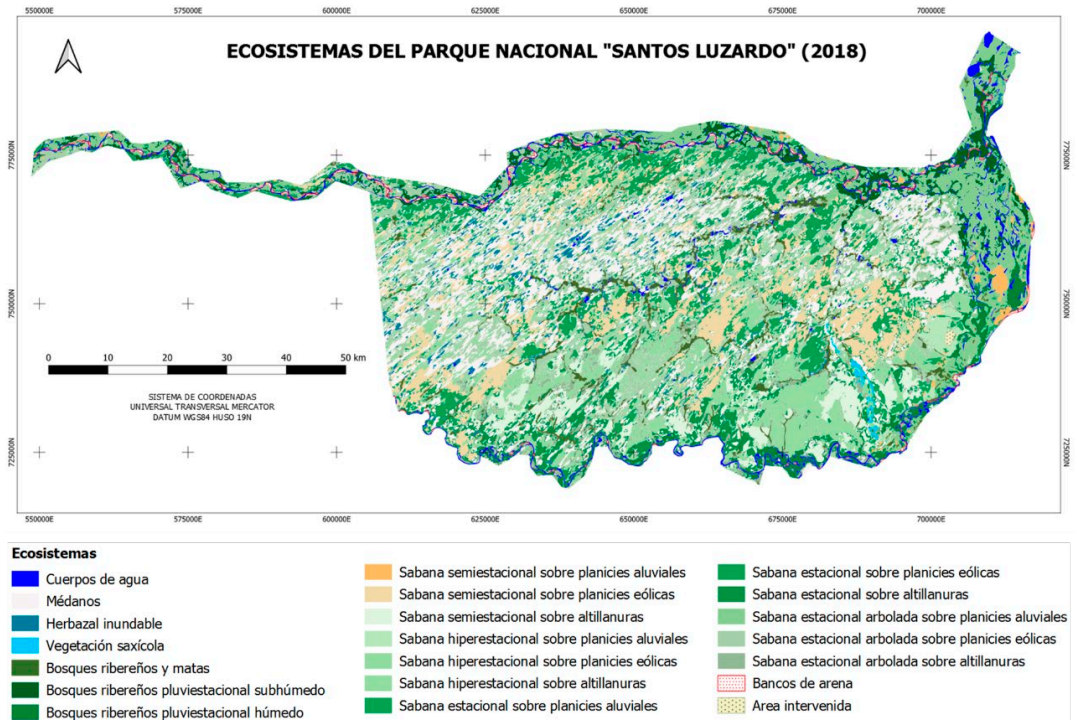
TABLA 2. Matriz de error del mapa de ecosistemas de las sabanas eólicas del Orinoco, basado en clasificación supervisada de imagen de satélite LANDSAT 8. Clases del mapa: **Me**: Médanos, **Br**: bosques ribereños, **Hi**: herbazal inundable, **SSE**: sabana semiestacional, **Shi**: sabana hiperestacional, **SE**: sabana estacional, **SEa**: sabana estacional arbolada, **Vs**: vegetación saxícola, **PF**: plantaciones forestales

	Datos de referencia									Total	
	No. ptos.	Me	Br	Hi	SSE	Shi	SE	SEa	Vs		PF
Datos clasificados	Me	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	Br	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
	Hi	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	SSE	0	0	0	4	0	1	0	0	0	5
	Shi	0	0	0	0	7	1	0	0	0	8
	SE	0	1	0	2	7	16	0	0	0	26
	SEa	0	0	0	0	1	0	6	0	0	7
	Vs	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Pf	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
	Total	7	12	1	6	15	18	6	1	4	70

TABLA 3. Ecosistemas del Parque Nacional Santos Luzardo en las sabanas eólicas de Venezuela

Nombre del ecosistema	Características relevantes
Sabana estacional arbolada sobre planicies eólicas	Domina la vegetación herbácea, presenta una mayor concentración de elementos leñosos asociados a las laderas de los médanos estabilizados que concentran mayor humedad
Sabana estacional arbolada sobre planicies aluviales	En estas sabanas las gramíneas son dominantes, pero los elementos leñosos son más densos y están asociados a la mayor concentración de humedad y de nutrientes por la cercanía a los ríos y los sedimentos eólicos
Sabana estacional arbolada sobre altiplanicie	En estas sabanas la comunidad de leñosas es menos densa debido a la predominancia de procesos pedogenéticos
Sabana estacional sobre planicies eólicas	Domina la vegetación herbácea en áreas topográficas altas como en los médanos estabilizados. Presenta elementos leñosos achaparrados y responden a la estacionalidad climática. En el periodo seco posee poca cobertura vegetal
Sabana estacional sobre planicies aluviales	Las sabanas van desde pastizales sin árboles hasta bosques abiertos; predominan las gramíneas en macolla que crecen durante todo el año y árboles bajos
Sabana estacional sobre altiplanicie	Domina la vegetación herbácea y presenta especies arbóreas pequeñas y esclerófilas relacionadas a las formas de relieve más estables con suelos arenosos
Sabana semiestacional sobre planicies eólicas	Vegetación dominada por gramíneas adaptadas a condiciones de inundación. Se encuentra asociado a las depresiones interduales y a los herbazales inundables. También suele presentarse en los bordes de este ecosistema comunidades de palma de moriche
Sabana semiestacional sobre planicies aluviales	Presenta plantas adaptadas a condiciones inundables y está asociado a un gradiente de inundación, ocupando una posición topográfica baja al estar cercano a los cuerpos de agua
Sabana semiestacional sobre altiplanicies	Ecosistema asociado a los cambios de la forma de relieve de las mesas; domina en áreas más bajas conocidos como valles coluviales. Se encuentra cerca del caño La Pica
Sabana hiperestacional sobre altiplanicie	Ecosistema donde domina la vegetación herbácea, marcado por la estacionalidad y suelen ocurrir eventos de fuego. Dentro del área del Parque se encuentra en la llanura de desborde y eólicas del río Cinaruco
Sabana hiperestacional sobre planicies eólicas	Ecosistema de vegetación herbácea que se extiende entre cursos de agua; posee una marcada estacionalidad fenológica con dos periodos de estrés: uno con exceso y otro con déficit de agua
Sabana hiperestacional sobre planicies aluviales	En este ecosistema las gramíneas son dominantes; en algunos lugares pueden encontrarse agrupaciones de palmas llaneras, especialmente en zonas aleañas a ríos o quebradas
Médanos	Son formaciones arenosas que llegan a alcanzar hasta 10 m de altura, presentan formas estrechas y alargadas. Se extienden en las sabanas entre los ríos Capanaparo y Cinaruco, y pueden presentarse desprovistas de vegetación o estabilizados por especies de gramíneas y pequeños árboles típicos de la sabana
Bosques ribereños y matas	Ecosistema de vegetación dominada por una alta densidad de árboles. Presenta palmas y morichales asociados a los ríos Capanaparo, Cinaruco y Orinoco. También pueden presentarse pequeñas agrupaciones de bosques en medio de las sabanas conocidas como matas
Bosque ribereño pluviestacional subhúmedo	En este ecosistema domina la vegetación arbórea asociada al río Capanaparo; pueden llegar a tener más de 2 km a los lados del cauce principal del río, suele inundarse durante el periodo de lluvias
Bosque ribereño pluviestacional húmedo	Son bosques que se encuentran restringidos al área del río Cinaruco, donde suelen encontrarse importantes agrupaciones de la palma moriche y la palma Mauritiella aculeata cerca del caño La Pica. Durante la época de lluvias se encuentran sometidos a inundaciones
Herbazal inundable	En este ecosistema domina la vegetación herbácea tolerante a la condición de exceso de agua en el suelo. Dependiendo de la disponibilidad de agua en el suelo, puede existir una lámina de agua sobre el suelo durante el periodo seco. Ocupa áreas interduales y cercanas a cuerpos de agua
Vegetación saxícola	Aquí dominan desde colonias herbáceas monoespecíficas hasta pequeños bosques con una altura variable; pueden presentar fenología decidua. La vegetación está asociada a formaciones geomorfológicas como las Galeras del Cinaruco
Cuerpos de agua	Se trata de todos los cuerpos de agua de origen léntico y lótico que mantienen un espejo durante casi todo el año. Destacan los ríos Orinoco, Capanaparo y Cinaruco, los cuales son de carácter permanente. También incluye otros cuerpos de agua como las lagunas, caños, quebradas que poseen carácter intermitente o permanente
Agroecosistemas	Esta clase corresponde a un sistema intervenido, caracterizado por ser tierras destinadas a la actividad agropecuaria, principalmente cultivos de maíz, yuca y frutales, acompañado de potreros cercanos a centros poblados rurales

FIGURA 2. Mapa de ecosistemas del Parque Nacional Santos Luzardo, 2018



Los 21 ecosistemas definidos y caracterizados (TABLA 3) ocupan una extensión total de 555.920 ha, donde las dunas como ecosistema único es el de mayor extensión, seguido de las sabanas estacionales (arboladas y no arboladas) sobre planicies édicas (FIGURA 3A). Al agrupar los ecosistemas con relación al tipo de vegetación (FIGURA 3B), encontramos que las sabanas son los ecosistemas de mayor extensión con un total de 382.019,25 ha (68,67%), seguido por los médanos con 86.634,51 ha (15,58%) y las áreas con bosques ribereños pluviestacionales y matas 53.940,53 ha (9,69%). Otros ecosistemas naturales, como los herbazales inundables ocupan 11.112,67 ha (2%), y la vegetación saxícola sobre afloramientos rocosos cubre 1.041,26 ha (0,19%). Mientras que ecosistemas intervenidos como los agroecosistemas ocupan solo 307,257 ha (0,06%).

4. Discusión

4.1 Diversidad de ecosistemas

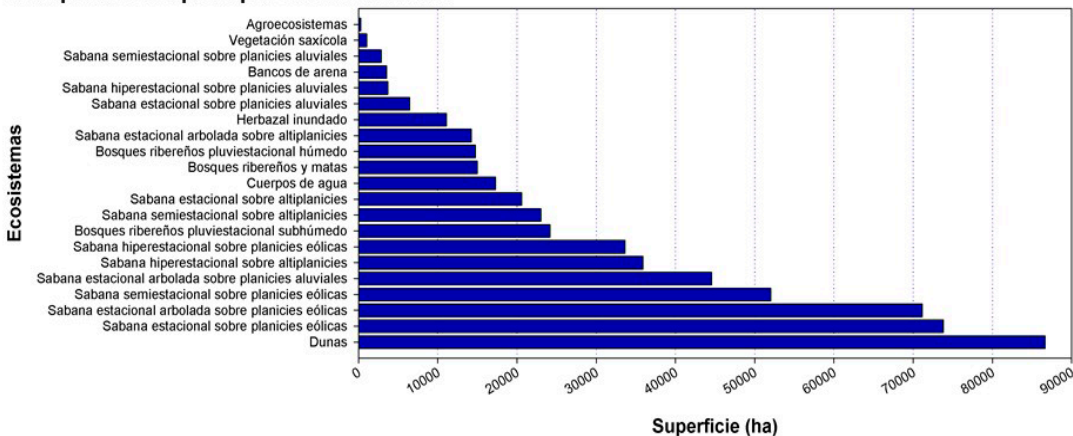
Las sabanas responden a condiciones hidrológicas y édicas que se expresan en su composición, estructura y procesos ecológicos (Romero *et al.*, 2004). Aunque existe una homogeneidad en el paisaje de las sabanas a nivel continental, a nivel local, se aprecia una heterogeneidad entre los ecosistemas, conllevando a una diversificación del funcionamiento y estructura de estos paisajes (Chacón-Moreno, 2007).

Aunque la matriz dominante del paisaje se encuentra representada en casi un 70% por las sabanas, esto no excluye la presencia de otros tipos de ecosistemas, donde se destacan los médanos, la diversidad de los bosques ribereños y matas, y en una menor proporción, los herbazales inun-

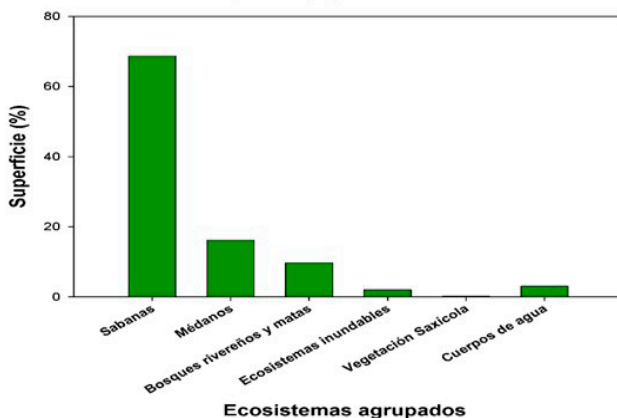
FIGURA 3. Superficie de cobertura de ecosistemas del PNSL, estado Apure, Venezuela, año 2018.

A. Superficie ocupada por cada ecosistema (ha). **B.** Porcentaje de superficie respecto al total del área, ocupada por ecosistemas agrupados de acuerdo a la forma de vida predominante

A. Superficie ocupada por cada ecosistema



B. Porcentaje de superficie ocupada por ecosistemas agrupados



dables y la vegetación saxícola característica de las Galeras del Cinaruco.

Dentro de los criterios de clasificación empleados para diferenciar ecosistemas aparentemente homogéneos como las sabanas destacan la disponibilidad de agua en el suelo y la geomorfología, para esta clase se sumó otro elemento, como la fisonomía, esto motivado a la diferencia notable en la firma espectral entre la clase sabana estacional y la sabana estacional arbolada, pues esta última posee una mayor presencia de elementos leñosos. La distribución de las sabanas estacionales arboladas dentro de la cartografía nacional no

se encuentra señalada, debido a que muy pocos autores consideran la disponibilidad del agua en el suelo para su clasificación, siendo la fisonomía uno de los criterios más empleados. Muestra de ello es el mapa de Vegetación de Venezuela (Huber y Alarcón, 1988), donde se presenta su localización en los llanos occidentales y suroccidentales, también conocido como sabana parque. Guevara *et al.* (2012) señalan que sobre los médanos estabilizados se crea un paisaje ‘colinoso’ con ondulaciones notorias, y en las laderas se presentan chaparrales con una matriz de *Trachypogon* sobre la que se destacan árboles aislados como manteco (*Byrsonima sp.*),

chaparro bobo (*Cuaratella americana*). Este patrón pudo observarse durante el levantamiento de la información en campo, donde los elementos leñosos en la sabana se aprecian claramente sobre las planicies aluviales y sobre las planicies eólicas.

4.2 Las sabanas

La sabana estacional es el sistema que se encuentra sometido a condiciones de estrés directamente generado, cuando el clima cálido se alterna con una fuerte concentración de lluvias distribuida entre 6 o 7 meses; el estrés hídrico producido por la sequía edáfica actúa como un filtro ecológico importante, por lo que las estrategias adaptativas responden a este factor limitante. Por lo tanto, cuando este estrés se hace más extremo tiende a dominar el pastizal casi puro, y el estrato arbóreo tiende a ser aislado o enano (Sarmiento, 1996). La sabana estacional dentro del área del PNSL se encuentra dominando en 13% sobre las planicies eólicas.

La sabana semiestacional que se extiende por 14% del área total, se encuentra relacionado con el ecosistema herbazal inundable en las depresiones interdunares. *The Nature Conservancy* (TNC) (2013) reconoce que las sabanas semiestacionales suelen estar asociados a comunidades de palma de moriche. La característica de mantenimiento de agua en el suelo durante el periodo de sequía, hace que la productividad de estas sabanas sea constante durante todo el año, conservando un aspecto verde en el punto más crítico de la época seca. Esta situación, representa un alto valor para el resguardo de fauna, asociada con los cuerpos de aguas y es fuente de alimentación y hábitat para diversas especies (Ulloa, 2009).

La sabana hiperestacional se diferenció siguiendo su ubicación sobre los paisajes geomorfológicos, sobre las planicies aluviales y las altiplanicies (Chacón-Moreno, 2004). Por otro lado, también se distingue a la sabana hiperestacional sobre

planicies eólicas, donde se destacan la presencia de los zurales, los cuales en el área de médanos son originados por el efecto del agua y del viento (TNC, 2013).

4.3 Los bosques

Uno de los ecosistemas relevantes en el PNSL son los bosques ribereños de los ríos Capanaparo y Cinaruco; estos bosques representan más del 9% del total del área de estudio. Los bosques ribereños, en muchas ocasiones, pasan de un paisaje dominado por bosque a otro dominado por sabana, generalmente asociado con cambios bioclimáticos (Rosales, 2003). Los bosques pluviestacionales y matas de los llanos suroccidentales del Orinoco se ubican al sur del río Apure, y se desarrollan en un clima marcadamente biestacional, correspondiente al tipo muy cálido y moderadamente lluvioso, con temperatura promedio igual o mayor a 26 °C, pluviosidad de 1.200 a 1.799 mm.año⁻¹ (Andressen y López, 2015). Considerando el mapa bioclimático de Venezuela, en el área se distinguen dos ombrotipos, subhúmedo y húmedo, siendo ambos pluviestacionales (Suárez del Moral y Chacón-Moreno, 2013).

De igual manera, en el estado Apure se identifican los bosques ribereños, morichales o saladillales, los cuales se ubican exclusivamente en las planicies eólicas y limosas que se localizan entre los ríos Arauca y Cinaruco, donde además suelen encontrarse agrupaciones importantes de morichales y de saladillo, y se distribuyen a lo largo de los caños y ríos nacidos en las sabanas sobre planicies eólicas y están sometidos a inundaciones durante la época de lluvias (TNC, 2013). Se ha planteado que las matas llaneras podrían ser relictos de antiguos bosques de galería fragmentados, donde el fuego posee un rol como regulador (Rosales, 2003; San José y Fariñas, 1991). Los bosques ribereños forman corredores naturales a lo largo de los cursos de agua, sirviendo de hábitat y refugio a

un sin número de especies animales, de allí que su conservación es fundamental en los llanos del Orinoco (Ulloa, 2009).

4.4 Los médanos y herbazales

Los médanos del Capanaparo cubren la mayor parte de las llanuras eólicas al sur del estado Apure. Dentro de las formas de relieve relevantes, se tiene a los llanos eólicos con escarceos que tienen un área más reducida, y los cordones medianosos que presentan un mayor desarrollo, tanto en altura (10-20 m.) como en extensión al ocupar 10% de la superficie del paisaje (Chacón-Moreno, 1991). Esta cifra se asemeja a la proporción de los médanos identificados en esta investigación a través de imágenes de satélite. Muchos de estos médanos se encuentran estabilizados, principalmente por una vegetación típica de la sabana estacional, generalmente rala. La especie dominante es *Trachypogon* y en ocasiones se presentan pequeños arbustos aislados. Se observa que la escasez de vegetación sobre los médanos está en relación con su altura, ya que en los sitios más altos la vegetación es casi nula (Ramia, 1959).

El herbazal inundable, a pesar de ocupar solamente el 2% del total del área, su ubicación entre las depresiones interdunares hace que actúe como un ecotono. Las comunidades de vegetación inundable en un corredor ribereño pueden ser agrupadas en función a su posición geomorfológica, siendo los bordes o barras arenosas el sitio donde se establece un herbazal denso considerado como un ecotono, caracterizado por la presencia de ciperáceas (Díaz y Rosales, 2006). En las depresiones interdunares, por lo general, se escurre el agua por escorrentía superficial hacia los caños y ríos, o se estanca durante la época de lluvias (Guevara *et al.*, 2012).

5. Conclusiones

Para la elaboración del mapa de ecosistemas del PNSL se empleó un enfoque multifactorial, jerárquico y anidado, donde los ecosistemas representan las unidades básicas. Al aplicar este enfoque, siguiendo principios de la ecología del paisaje, se facilitó la identificación, mapeo y caracterización de uno de los paisajes de las sabanas del Orinoco menos estudiados, permitiendo reconocer un total de 21 ecosistemas en el área. Sin embargo, el mapeo de ecosistemas para áreas aparentemente homogéneas como las sabanas, ameritó adoptar otros criterios diagnósticos que facilitarían su diferenciación, tal como la disponibilidad de agua en el suelo, pues emplear solamente aspectos geomorfológicos, bioclimáticos y de cobertura no bastan para identificar la presencia de un ecosistema tan particular como las sabanas.

El desarrollo de estudios de investigación en esta línea es de vital importancia para hacer un seguimiento sobre la transformación y conservación de la biodiversidad en una de las ecorregiones identificada como uno de los Tipos Principales de Hábitat (TPH) de Máxima Prioridad de Conservación. En este sentido, con el mapeo de ecosistemas de esta área protegida se facilita la generación de herramientas cartográficas útiles para los tomadores de decisiones e investigadores interesados en la planificación para la conservación de la biodiversidad, así como en el seguimiento de procesos de cambio y transformación de los ecosistemas que integran este paisaje, siendo el punto de partida para la evaluación de su estado de conservación ante procesos de cambio global.

6. Agradecimientos

Queremos agradecer a nuestros compañeros y amigos del Laboratorio de Ecología del Paisaje y Conservación del Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE): Carla, Isabel y Yorman, por

las discusiones y aportes que enriquecieron esta investigación. Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento otorgado por: *Neotropical Grassland Conservancy* (NGC) a través del *Programa Student Grant* al proyecto 'Parque Nacional Santos Luzardo:

figura de conservación frente al cambio global'. Durante la redacción de este artículo Eulogio Chacón-Moreno recibió una beca académica del *Instituto of International Education's Scholar Rescue Fund* (IIE-SRF).

7. Referencias citadas

- ANDRESSEN, R. y J. LÓPEZ. 2015. "Clima de los Llanos venezolanos". En: R. LÓPEZ; J. HÉTIER; D. LÓPEZ y R. SHARGEL (eds.), *Tierras Llaneras de Venezuela...tierras de buena esperanza*. pp. 40-61. CIDIAT-ULA. Mérida, Venezuela.
- CABELLO, J. y J. M. PARUELO. 2008. "La teledetección en estudios ecológicos". *Ecosistemas*, 17(3):1-3.
- CHACÓN-MORENO, E. 2007. *Ecological and spatial modelling: Mapping ecosystems, landscape changes, and plant species distribution in Llanos del Orinoco, Venezuela*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation and Wageningen University. Enschede, The Netherlands. PhD Thesis.
- CHACÓN-MORENO, E. 2004. "Mapping savanna ecosystems of the Llanos del Orinoco using multitemporal NOAA satellite imagery". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5: 41-53.
- CHACÓN-MORENO, E. 1991. "Vegetación y flora de las sabanas venezolanas". En: BIOMA-MARNR (ed.), *Plan de ordenación y manejo del Parque Nacional Santos Luzardo*, vol. 1. pp 38-82. Caracas, Venezuela.
- CHACÓN-MORENO, E.; ULLOA, A.; TOVAR, W.; MÁRQUEZ, T.; SULBARÁN-ROMERO, E. y M. RODRÍGUEZ-MORALES. 2013. "Sistema de clasificación ecológico y mapas de ecosistemas: Enfoque conceptual-metodológico para Venezuela". *Ecotrópicos*, 26, 1-27.
- CHACÓN-MORENO, E.; LLAMBÍ, L. D.; ACEVEDO, D.; UTRERA, A. y A. ULLOA. 2015. "Paisajes y Ecosistemas Llaneros: Ecología y Conservación". En: R. LÓPEZ; J. HÉTIER; D. LÓPEZ y R. SHARGEL (eds.), *Tierras Llaneras de Venezuela...tierras de buena esperanza*. pp. 195-240. CIDIAT-ULA. Mérida, Venezuela.
- CHACÓN-MORENO, E. y P. SUÁREZ, P. 2020. "Mapa bioclimático de la Cordillera de Mérida". *Ecotrópicos*, 32:1-14
- CHAVEZ, P.S. 1988. "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data". *Remote Sensing of Environment*, 24: 459-479.
- CHUVIECO, E. 2002. *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. 1ª ed. Editorial Ariel, Barcelona, España.
- CONGALTON, R. & K. GREEN. 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Second Edition. Taylor & Francis Group. Boca Raton, United States.
- DÍAZ, W. y J. ROSALES. 2006. "Análisis florístico y descripción de la vegetación inundable de várzeas Orinoquenses en el Bajo Río Orinoco, Venezuela". *Acta Botánica Venezuelica*, 29(1): 39-68.
- DINERSTEIN, E.; OLSEN, D. M.; GRAHAM, D. J.; WEBSTER, A. L.; PRIMM, S. A.; BOOK-BINDER, M. P. & G. LEDEC. 1995. *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. World Bank, WWF. Washington D. C., USA.

- GUEVARA, J. R.; CARRETO, O.; MAZÓN, M. y L. E. GÁMEZ. 2012. *Evaluación ecológica rápida del municipio Rómulo Gallegos del estado Apure*. The Nature Conservancy y Alcaldía Bolivariana del Municipio Rómulo Gallegos. Mérida, Venezuela. Informe técnico.
- HUBER, O. y C. ALARCÓN. 1988. *Mapa de Vegetación de Venezuela*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. The Nature Conservancy. Fundación Bioma. Caracas, Venezuela.
- JOSEE, C.; NAVARRO, G.; COMER, P.; EVANS, R.; FABER-LANGENDOEN, D.; FELLOWS, M.; KITTEL, G.; MENARD, S.; PYNE, M.; REID, M.; SCHULZ, K.; SNOW, K. & J. TEAGUE. 2003. *Ecological Systems of Latin America and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems*. NatureServe, Arlington, United States.
- JOSSE, C.; CUESTA, F.; NAVARRO, G.; BARRENA, V.; CABRERA, E.; CHACÓN-MORENO, E.; FERREIRA, W.; PERALVO, M.; SAITO, J. y A. TOVAR. 2009. *Ecosistemas de los Andes del norte y centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Secretaría General de la Comunidad Andina, Lima.
- KÖPPEN, W. & R. GEIGER. 1936. *Das geographische System der Klimate*, Berlin, Alemania.
- MEIDINGER, D. 2003. *Protocol for accuracy assessment of ecosystem maps*. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Tech. Rep. 011.
- NAVARRO-GONZÁLEZ, G. 2020. *Parque Nacional 'Santos Luzardo': figura de conservación frente al cambio global*. Postgrado en Ecología Tropical. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo de Grado de Maestría.
- PAREDES, M. D. 2018. *Ecosistemas en una sección de los Parques Nacionales Sierra Nevada y Sierra de La Culata: de lo potencial a lo transformado*. Escuela de Geografía. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado para obtener el título de Geógrafo.
- QUANTUM GIS Development Team. 2019. *Quantum GIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponible en: <http://qgis.osgeo.org>.
- RAMIA, M. 1959. *Las sabanas de Apure*. Ministerio de Agricultura y Cría. Dirección de Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela.
- ROMERO, M.; GALINDO, G.; OTERO, J. y D. ARMENTERAS. 2004. *Ecosistemas de la cuenca del Orinoco colombiano*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- ROSALES, J. 2003. "Bosques y selvas de galería". En: M. AGUILERA; A. AZÓCAR y E. GONZÁLEZ-JIMÉNEZ (eds.), *Biodiversidad de Venezuela*. pp. 812-826. CONICIT y Fundación Polar. Caracas, Venezuela.
- SAN JOSÉ, J. J. & M. FARIÑAS. 1991. "Temporal changes in the structure of a *Trachypogon* savanna protected for 25 years". *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 12(2): 237-247.
- SARMIENTO, G.; MONASTERIO, M. y J. SILVA. 1971. "Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. I". Las unidades ecológicas regionales. *Acta Científica Venezolana*, 22: 52-59.
- SARMIENTO, G. 1996. "Biodiversity and water relations in tropical savannas". En: O. T. SOLBRIG; E. MEDINA & J. SILVA (eds.), *Biodiversity and savanna ecosystem processes-a global perspective, ecological studies*, vol 121. Springer, Berlin.
- SARMIENTO, G. 1983. "The savannas of Tropical America". En: F. BOURLIÈRE (ed.), *Tropical Savannas*. pp. 245-288. Elsevier Pu. Co. Amsterdam.

- SHARGEL, R. 2015. "Suelos llaneros: Geomorfología, distribución geográfica y caracterización". En: R. LÓPEZ; J. HÉTIER; D. LÓPEZ. y R. SHARGEL (eds.), *Tierras Llaneras de Venezuela...tierras de buena esperanza*. pp. 63-149. CIDIAT-Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- SCHARGEL, R. 2005. "Geomorfología y suelos de los Llanos venezolanos". En: J. M. HÉTIER y R. LÓPEZ (eds.), *Tierras Llaneras de Venezuela*. pp. 57-113. CIDIAT-Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- SUÁREZ DEL MORAL, P. y E. CHACÓN-MORENO. 2013. *Mapa bioclimático de Venezuela. Informe técnico y protocolo de trabajo*. ECOMAP_CC (2011000350). Informe técnico. Mérida, Venezuela.
- THE NATURE CONSERVANCY. 2013. *Producción sostenible y conservación en el Municipio Rómulo Gallegos*. TNC y Alcaldía de Rómulo Gallegos, Venezuela.
- ULLOA, A. 2009. *Prioridades de conservación en las sabanas inundables de los llanos del Orinoco*. Postgrado en Ecología Tropical. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo de Grado (Maestría).
- WU, J. 2013. "Landscape Ecology". En: R. LEEMANS (ed.), *Ecological systems: selected entries from the Encyclopedia of sustainability science and technology*. pp. 179-200. Springer Science & Business Media. New York, USA.