

**BP-21**

## **RESPUESTA DE ECOTONOS TERRESTRES- ACUÁTICOS A LA PERTURBACIÓN ANTROPOGÉNICA EN LOS LLANOS DEL ORINOCO.**

**José San José<sup>1</sup>, Rubén Montes<sup>2</sup>, Carmen Buendía<sup>1</sup>, Dirk Thielen<sup>1</sup>, Miguel Mazorra<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas,

<sup>2</sup> Universidad Simón Bolívar,

<sup>3</sup> Fedepalma. [janjose@ivic.gob.ve](mailto:janjose@ivic.gob.ve) [cbuendia57@gmail.com](mailto:cbuendia57@gmail.com) [rmontes@gmail.com](mailto:rmontes@gmail.com)  
[cbuendia@ivic.gob.ve](mailto:cbuendia@ivic.gob.ve) [dthielen@ivic.gob.ve](mailto:dthielen@ivic.gob.ve)

### **RESUMEN**

Se evalúa el efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre las variables hidrológicas y características edáficas de un ecotono acuático-terrestre donde han aparecido parches de vegetación y ha disminuido la productividad primaria neta. Basándonos en el nivel de la tabla freática, se seleccionaron tres sitios de estudio correspondientes a corriente interrumpida, intermitente y permanente a lo largo del ecotono de la cuenca del morichal Sunsunes. Para describir el impacto humano sobre la cobertura de la tierra, parches, biodiversidad, hidrología, características edáficas, productividad primaria neta y disponibilidad de nutrientes, se empleó una aproximación estructural y funcional. La hidrología (i.e., duración y altura de la inundación), química del suelo (concentración de calcio, disponibilidad de Potasio y materia orgánica) y características físicas (i.e., espacio poroso) fueron las que predijeron la perturbación antropogénica. En el ecotono, las especies arbóreas invasoras de sabanas bien drenadas aumentaron la cobertura leñosa según la descripción de un modelo exponencial expandido. La disminución de la tabla freática en los sitios de corriente interrumpida e intermitente, incremento en 74 y 34 respectivamente las especies colonizadoras provenientes de sabanas bien drenadas. La producción primaria neta de la vegetación ecotonal (909 g C/cm<sup>2</sup>/año) en el sitio de corriente interrumpida, fue el sumidero más alto comparado con los sitios de corriente intermitente y permanente (580 g C/cm<sup>2</sup>/año). El impacto antropogénico conjuntamente con la perturbación natural resultó en una disminución del funcionamiento del sistema. En contraste a la hidrología, el efecto de la adición de nutrientes (i.e., encalado y fósforo) sobre la acumulación de carbono por las especies no fue significativo, la respuesta funcional del sistema fue más sensible al régimen hidrológico. Los resultados indicaron que el impacto sobre los ecotonos ocurre en corto plazo y que la vulnerabilidad al clima es crucial en una vegetación que depende de la tabla freática.

Palabras clave: ecotonos intervenidos, cambios antropogénicos

## INTRODUCCIÓN

Los ecotonos acuático-terrestres en los Llanos del Orinoco, han sido modificados por actividades humanas tales como ganadería, agricultura, explotación petrolera, consumo y contaminación de las aguas. Estas alteraciones han sido agravadas por la sensibilidad de los ecotonos a las perturbaciones (San José et al. 2001). Los cambios acelerados en el uso de la tierra, debidos a modificaciones sociales y avances tecnológicos, encabezan las causas de la pérdida de hábitats y biodiversidad, así como la fragmentación de las fases acuático-terrestres de los ecotonos (Naiman et al. 2005).

En Venezuela, las prácticas agrícolas tienen un potencial efecto sobre la pérdida y transferencia de los nutrimentos en la fase acuático-terrestre. La práctica de la quema a los ecotonos ha modificado la vegetación y características edáficas (San José et al. 2001). Estos cambios alteran no solo el nivel freático y el balance de energía, sino que influyen en el contenido de carbono del sistema. Sin embargo, los efectos de las actividades humanas sobre los ecotonos solo son parcialmente conocidas (San José et al. 2001). El objetivo principal de este estudio fue examinar los efectos del cambio de uso de la tierra sobre la naturaleza de los ecotonos acuático-terrestres. Para ello, el trabajo se realizó en un ecotono acuático-terrestre (morichal) de los Llanos del Orinoco, lo que contribuirá a la comprensión del papel de los ecotonos en el manejo de los paisajes. En tal sentido, se emplearon sensores remotos y datos de campo, como metas para responder a las siguientes preguntas

- 1- ¿Han fragmentando las actividades humanas a la fase terrestre de los ecotonos?
- 2- ¿Se ha incrementando la cobertura leñosa?
- 3- ¿Han modificado los cambios en el uso de la tierra la dinámica hídrica y edáfica del ecotono?
- 4- ¿Qué efecto tiene la disminución de la tabla freática sobre la estructura y productividad del ecotono?

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó para el estudio el morichal Sunsunes, una cuenca de aproximadamente 23 Km<sup>2</sup>, ubicada en el Municipio Santa Bárbara del Estado Monagas, Venezuela. Este morichal, con una corriente de primer orden, muestra un mosaico con diferentes usos, representativo del sistema de producción de la zona. El clima es estacional, dominado por una temporada húmeda, y presenta una precipitación promedio anual de 1.014 mm y temperatura promedio anual de 25.9°C.

Se analiza la fragmentación del paisaje en base a mapas, fotografías aéreas e información de productores de la zona. Se utilizaron cuatro misiones aéreas (1962, 1968, 1977 y 1997) en el estudio. Para el diagnóstico de los parches ecotonales, se ordenó su tamaño en valores descendentes de acuerdo a una distribución de frecuencias según la técnicas de Pareto (1897) y Knopff y Sornette (1995).

**Selección del sitio de estudio:** Se seleccionaron cuatro sitios de estudio a lo largo del morichal Sunsunes, basados en los niveles de agua encontrada en el cauce: el sitio 1 de corriente interrumpida con un cauce seco a 194 m.s.n.m.; el sitio 2 con una corriente intermitente a 190 m.s.n.m., el sitio 3 con inundación permanente a 181 m.s.n.m., el sitio 4 presenta una zona plana inundada en forma permanente a 179 m.s.n.m. Se usó el sitio 4 para comparar los efectos del uso de fertilizantes sobre la fitomasa y la composición florística. El sitio 5 es el control, ubicada en la sabana bien drenada a 193 m.s.n.m.

Se midió, semanalmente, el nivel piezométrico del agua y el contenido volumétrico de agua en el suelo desde octubre 2004 a julio 2007.

Se evaluó, en los sitios, el conjunto de variables que reflejaban la perturbación usando un análisis discriminante (Snedecor and Cochran 1967; Brown 1998; Sokal and Rohlf 1998). Este análisis permite definir los factores que mejor predicen la perturbación (combinación lineal de variables) a través del ecotono. Se hizo un análisis de variables para reducir las variables redundantes en cada subsistema (i.e., subsistema hidrológico y edáfico).

Se colectaron, en cada sitio de estudio, las especies. Se determinó la similitud florística entre los sitios, mediante el índice de Sorensen (SI) (Sorensen, 1948) en términos de presencia o ausencia de especies.

**Producción primaria neta:** Se estimó la productividad primaria neta anual (NPP) siguiendo el método propuesto por Long et al (1992). Se calcularon los cambios en la fitomasa usando regresiones alométricas (altura/fitomasa) para cada especie (San José et al. 1998). En cada uno de los sitios de muestreo, se colectó la hojarasca mensualmente en trampas diseñadas para tal fin. Se determinó mensualmente la tasa relativa de descomposición de la capa herbácea usando bolsas de descomposición que fueron removidas mensualmente, según la metodología de Long et al (1992).

**Efecto de la perturbación sobre el patrón de vegetación:** Se elaboró en cada sitio de estudio (1-3) un perfil de la vegetación leñosa, basado en el censo de parcelas contiguas (10mx10m cada una) en un transecto permanente. Se ubicaron los árboles usando un sistema de ejes cartesianos y se les midió la altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de acuerdo al método de Lamprecht y Veillon (1957).

**Respuesta de la acumulación de C en las especies al experimento de fertilización:** Se realizó, en el sitio 4, un experimento de fertilización basado en una combinación de cal y superfosfato con un número suficiente de replicaciones para controlar la heterogeneidad del suelo. Los tratamientos fueron: a) control (sin enmienda y sin fertilización), b) encalado (96,6% CaCO<sub>3</sub>)(3.250 kg/ha),

c) Superfosfato (46-50 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (100 kg/ha) y d) una combinación de 3.250 kg/ha de cal y 100kg/ha de superfosfato. Se aplicaron los tratamientos durante la estación seca (Abril 2005) y se cosechó la fitomasa al final de su desarrollo (Octubre 2005) separándose en especies y determinando su masa.

## **RESULTADOS**

### **Cambios en la cobertura del ecotono y fragmentación de parches de la vegetación**

En un periodo que va desde 1962 a 1997 (35 años), el área cubierta por sabanas bien drenadas se redujo en un 64% por efecto de cambios en el uso y cobertura (i.e., ganadería, agricultura, industria) (Fig.1). El componente leñoso del ecotono fue asociado con la invasión de especies provenientes de la sabana bien drenada, y su cobertura varió de 17% en 1977, a 42,6% en 1997. La densidad de parches decreció de 11.3 parches/ha en 1977 a 1.5 parches/ha en 1997.

### **Cambios en la hidrología debido al impacto humano:**

En el ecotono de los Sunsunes, las alteraciones de la hidrología fueron asociadas a los cambios en el uso de la tierra y se manifiestan en una reducción progresiva de la profundidad de la tabla freática. Por lo tanto, la recarga del acuífero ocurrió parcialmente. Así, desde el 2004 al 2005, la profundidad/altura del nivel freático en los sitios de corriente interrumpida, intermitente y permanente variaron de -3,7 a -2,0; -2,3 a 0,3 y de 0,3 a 1,5 m respectivamente. De 2005 a 2006, los valores para los mismos sitios variaron de -2,9 a -2,0; -1,1 a -0,3 y 0,8 a 0,6 m respectivamente (Fig. 2). Los resultados revelan que los ritmos interanuales del nivel freático del suelo no se compaginan con los promedios de precipitación caída de 2004 a 2007 (899, 1193, 993 y 1352 mm).

El contenido volumétrico de agua en el suelo (medido hasta 30 cm de profundidad) en los sitios con corriente interrumpida e intermitente, mostraron un marcado cambio estacional entre 2004 y 2007 (Fig. 3). En la temporada seca, el sitio 1 con corriente interrumpida, el máximo de humedad fue 0,3 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (por debajo de la capacidad de campo), mientras que el sitio 2 (intermitente) presentó un máximo de 0,4 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. En la temporada seca, los valores 0,119 y 0,153 para los sitios 1 y 2 respectivamente, se encontraron por debajo del punto de marchitez permanente.

### **Cambios en la composición de las especies y patrón de vegetación asociado a los cambios en el nivel freático.**

Se censó un total de 172 especies, 98 géneros y 46 familias. La familia con más especies fue la Poaceae (17), seguida de la Fabaceae (12) y la Cyperaceae (11). La similitud florística entre los sitios (1 y 2) y las sabanas bien drenadas fue de 46% y

36% respectivamente, mientras que la similitud entre el sitio 3 y la sabana fue de 15%.

Cambios en la estructura del ecotono ocurrieron en el sitio de corriente interrumpida, donde desaparecieron progresivamente los individuos de *Mauritia flexuosa* debido a la perturbación producida por la ausencia de agua en el suelo y las quemaduras frecuentes. El estrato inferior de la vegetación fue invadido por especies herbáceas (i.e., *Andropogon bicornis*, *A. condensatus*, *Axonopus canescens*, *Eragrostis maypurensis*, *Paspalum multicaulis* y *Borreria capitata*) y especies leñosas de las sabanas bien drenadas (i.e., *Curatella americana* y *Byrsonima crassifolia*).

La vegetación, asociada al sitio 2 de corriente intermitente, mostró una mezcla de especies hidrófilas y especies de sitios bien drenados (i.e., *Cecropia peltata*, *Vismia cayenensis* y *Xylopia aromatica*) donde las especies nativas del ecotono han ido disminuyendo a medida que el suministro hídrico disminuyó.

En el sitio 3, con corriente permanente, el estrato arbóreo con un dosel abierto fue dominado por la palma *Mauritia flexuosa* e individuos de *Cecropia peltata*. El estrato inferior fue caracterizado por juveniles de *M. flexuosa* y especies de Cyperaceae (*Bulbostylis juncoides*, *Cyperus haspan*, y *Eleocharis filiculmis*). En este sitio, se observaron prácticas agrícolas y pastoreo.

La adaptación de las plantas al medio en cada sitio, se expresó mediante el espectro de las formas biológicas (Vareschi 1966). En los sitios 1 y 2 hubo similitudes entre ellos con predominancia de las formas de vida Teroculmi y Teroherbae, que pueden sobrevivir periodos desfavorables en forma de semilla. En el sitio 3 (con agua permanente) se encuentra en forma exclusiva la especie *Hydrofita radicans* como una forma de vida lenticia.

### **Respuesta de la productividad primaria neta (PPN) a los cambios graduales en el régimen hídrico y quemaduras frecuentes.**

Los cambios de uso de la tierra se reflejaron en la composición florística y en el funcionamiento del estrato herbáceo, que produjeron diferencias en la acumulación de masa seca a lo largo del morichal Sunsunes y sus áreas adyacentes. Los sitios de corriente interrumpida, intermitente y permanente, fueron colonizados por herbáceas de la sabana bien drenada. La presencia de abundante material combustible, durante la temporada seca, favoreció la frecuencia e intensidad de las quemaduras. La PPN en los sitios más impactados por el fuego, fue de 580 g C/m<sup>2</sup>/año en contraste con la PPN del sitio 1 (c. interrumpida) que fue de 990 g C/m<sup>2</sup>/año debido a la baja acumulación de material combustible y la invasión de especies resistentes al fuego proveniente de la sabana cercana.

Los cambios temporales de la producción de hojarasca fueron influenciados por las modificaciones del nivel freático y la frecuencia del fuego.

## DISCUSIÓN

Las actividades humanas contribuyen a la declinación del nivel freático. Las alteraciones hidrológicas como consecuencia de la actividad agrícola, han modificado las características de los paisajes ribereños. Las fluctuaciones de la tabla de agua, por debajo de la zona de raíces, han impactado la estructura y funcionamiento de la vegetación, reduciendo el flujo de materiales hacia el componente acuático.

En el sitio 1, la declinación del nivel freático, hasta 2,5 m por debajo de la superficie del cauce, cambió las relaciones bióticas entre las zonas saturadas y no saturadas del ecotono influyendo la concentración de nutrimentos, el contenido de materia orgánica y la difusión del aire en el suelo.

En el ecotono del morichal Sunsunes, la corriente y la vegetación fueron alteradas a lo largo de su recorrido. El descenso del nivel freático causó estrés hídrico a los arboles y arbustos del ecotono, aceleró la senescencia de las plantas y redujo la capacidad de las leñosas para resistir el fuego (Bush et al. 1992)

La supervivencia y desarrollo de las plántulas en el ecotono fue asociada a las variaciones del nivel freático, el cual introdujo cambios en la estructura de la vegetación, tales como la eliminación de la palma *Mauritia flexuosa* y *Xylopia aromatica* en el sitio 2 con corriente interrumpida. Las plantas dependientes del nivel freático, tuvieron problemas para sobrevivir debido a la baja capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Esto promovió la acumulación del material muerto en pie (en el caso de herbáceas) que sirvió de combustible para el fuego. Las quemas afectaron la composición florística a lo largo del morichal y favorecieron la colonización de especies de las sabanas bien drenadas que produjeron abundantes semillas, con características que facilitan la dispersión abiótica.

El fuego es un importante factor que influye en la estructura de la comunidad vegetal del ecotono. Así en el sitio 1 (corriente interrumpida) ocurrió un proceso de terrenalización que mantuvo la integridad ecológica. En el sitio 1 se encontró una alta proporción de especies anuales colonizadoras (40%) produciendo abundante semilla, que contribuyó con la diversidad del sitio. De esta forma, el índice de similitud entre el sitio de corriente interrumpida y la sabana bien drenada fue de 69%, mientras que entre esta y el sitio de corriente permanente fue de 15%. El efecto de los cambios en la altura de la lámina de agua sobre la composición de la vegetación ha sido bien reportado para ecosistemas ribereños y humedales (Stromberg et al. 1996). Estos cambios también se ven reflejados en el tamaño y distribución de los parches de vegetación, según el modelo de distribución exponencial que explica el impacto humano sobre los parámetros según Thielen et al (2008). El sitio de corriente interrumpida fue el más susceptible al incremento de la vegetación por invasión de especies de la sabana lo que indica que cuando se incrementan las actividades que cambian el uso del agua, esta se encuentra menos disponible para la vegetación y las especies leñosas son sustituidas por las de sabanas bien drenadas. Las especies fueron distribuidas de acuerdo a mecanismos de tolerancia a las concentraciones de oxígeno en el suelo.

La producción primaria neta (herbáceas) en los sitios 1 y 2 fue similar a la producción reportada para las sabanas bien drenadas de los Llanos del Orinoco. La adición de fertilizantes no modificó significativamente la acumulación de fitomasa.

La información obtenida en este trabajo muestra que el impacto humano sobre el funcionamiento del ecotono ha ocurrido rápidamente. El cambio global de las condiciones climáticas podría alterar la magnitud de los procesos hidrológicos en los ecotonos de los Llanos del Orinoco. Los efectos antropogénicos podrían amplificar o reducir la respuesta del ecotono a los cambios climáticos y aunque los ecotonos son vistos como ecosistemas resilientes (Naiman et al. 2005), los marcados cambios en el uso de la tierra producto de cambios en el medio ambiente podrían exceder los límites de esa resiliencia.

## REFERENCIAS

Brown CE (1998) Applied multivariate statistics in geohydrology and related sciences. Springer Verlag, Berlin

Bush DE, Ingraham NL, Smith SD (1992) Water uptake in woody riparian phreatophytes of the southwestern U.S. a stable isotope study. *Ecol Appl* 2:450–459

Knopoff L, Sornette D (1995) Earthquake death tolls. *J Phys I Paris* 6:1668–1681

Lamprecht H, Veillon JP (1957) La Carbonera. *El Farol* 168:17–24

Long SP, Jones MB, Roberts MJ (1992) Primary production of grass ecosystems of the tropics and subtropics. Chapman & Hall, London

Naiman RJ, Decamps H, McClain ME (2005) Riparia. Ecology, conservation, and management of streamside communities. Elsevier Academic Press, Amsterdam

Pareto V (1897) Cours d'économie politique. Reprinted as volume of Oeuvres Complètes. Librairie Droz, Geneva

San José JJ, Montes RA, Mazorra M (1998) The nature of savanna heterogeneity in the Orinoco basin. *Global Ecol Biogeogr Lett* 7:441–455

San José JJ, Meirelles ML, Bracho R, Nikonova N (2001) A comparative analysis of the flooding and fire effects in the energy exchange in a wetland community (Morichal) of the Orinoco llanos. *J Hydrol* 242:228–254

Snedecor GW, Cochran WC (1967) Statistical methods. Ed. 6. Iowa State University Press, Iowa

Sokal R, Rohlf R (1998) Biometry. Ed. 2. Freeman, New York

Sorensen T (1948) A method of establishing groups of equal amplitude in plant society based on similarity of species content. *K Danske Vidensk Selsk* 5:1–34

Stromberg JC, Tiller R, Richter B (1996) Effects of groundwater decline on riparian vegetation of semiarid regions: The San Pedro, Arizona. *Ecol Appl* 6:113–131

Thielen DR, San José JJ, Montes RA, Lairet R (2008) Assessment of land use changes on woody cover and landscape fragmentation in the Orinoco savannas using fractal distributions. *Ecol Indicators* 8:224–2338

Vareschi V. (1966). Sobre las formas biológicas de la vegetación tropical. *Bol. Soc. Ven. Cien. Nat.* 26:504-518