




# Análisis espacio-temporal del régimen de fuego en las sabanas húmedas del pacífico sur de Costa Rica mediante datos MODIS 2001-2022

## Spatio-temporal analysis of the fire regime in the humid savannas of southern Pacific Costa Rica using MODIS data 2001 – 2022

Luis Guillermo Artavia-Rodríguez<sup>1</sup> ; Ramón Masis-Campos<sup>2</sup>   
y Gerardo Ávalos-Rodríguez<sup>3</sup> 

### RESUMEN

El ecosistema de sabanas húmedas del pacífico sur de Costa Rica se encuentran ubicadas en una serie de parches de diferentes dimensiones y se desarrollan sobre un complejo escenario biofísico. La presencia del ecosistema, ha llamado la atención de naturalistas a lo largo del tiempo, sin embargo no se tiene claro su génesis, y se debate entre un origen natural o antrópico. En las referencias históricas sobre el ecosistema, queda en evidencia la relación fuego y sabana, pero se carece de información sistematizada entorno a dicha relación. Aquí, se analiza la distribución espacial y temporal de la incidencia del fuego en el ecosistema de sabanas húmedas del pacífico sur de Costa Rica para el periodo 2001 al 2022 usando datos MODIS. Para la delimitación del ecosistema se utilizó una imagen satelital RapidEye del año 2013 y de cinco metros de resolución de pixel. El análisis de fuegos se elaboró utilizando datos del repositorio Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Durante los diecinueve años bajo análisis se quemaron un total de 13,224.6 hectáreas, siendo el año 2004 el que presento mayor área calcinada con 3,948.0 hectáreas. Estos fuegos se concentran principalmente durante la época seca. El área de sabana con mayor frecuencia de incendios se presentó en las sabanas de la sección media y alta de la cuenca hidrográfica del río Ceibo, dentro del Territorio Indígena Ujarras. Los resultados pueden ser de utilidad para mejorar la planificación del manejo y conservación del ecosistema de sabanas húmedas del sur de Costa Rica.

**Palabras clave:** fuego, sabanas húmedas, MODIS, Costa Rica.

<sup>1</sup> Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: luis.artavia@ucr.ac.cr

<sup>2</sup> Universidad de Costa Rica. Correo electrónico ramon.masiscampos@ucr.ac.cr

<sup>3</sup> Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: Gerardo.avalos@ucr.ac.cr

### ABSTRACT

The humid savannas ecosystem of the southern Pacific of Costa Rica is located in a series of patches of different sizes and develops on a complex biophysical setting. The presence of the ecosystem has drawn the attention of naturalists over time, however its genesis is not clear, and there is a debate between a natural or anthropic origin. In the historical references on the ecosystem, the relationship between fire and savannas is evident, but there is a lack of systematized information about said relationship. Here, the spatial and temporal distribution of fire incidence in the humid savannas ecosystem of the South Pacific of Costa Rica is analyzed for the period 2001 to 2022 using MODIS data. For the delimitation of the ecosystem, a RapidEye satellite image of the year 2013 and five meters of pixel resolution was obtained. The fire analysis was produced using data from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) repository. During the nineteen years under analysis, a total of 13,224.6 hectares were burned, with 2004 being the year that presented the largest calcined area with 3,948.0 hectares. These fires are concentrated mainly during the dry season. The savannas area with the highest frequency of fires occurred in the savannas of the middle and upper section of the Ceibo River watershed, within the Ujaras Indigenous Territory. The results may be useful to improve management planning and conservation of the humid savannas ecosystem in southern Costa Rica.

**Keywords:** fire, humid savanna, MODIS, Costa Rica.

## Introducción

El fuego tiene un rol fundamental en la evolución, dinámica y mantenimiento del ecosistema de sabana (Pellegrini, 2016; Edy et al., 2014; Senseing, 2010). La relación vegetación-fuego se remonta 420 Ma en el pasado, durante el periodo Silúrico, y fue en el ecosistema de sabana donde los primeros homínidos practicaron la modificación de la vegetación mediante el manejo del fuego, hace aproximadamente 50,000 a 40,000 años (Bowman et al., 2009).

A escala mundial el fuego afecta entre 30 y 46 millones de km<sup>2</sup> por año, lo que equivale aproximadamente a un 4% de la superficie del planeta (Doerr & Santin, 2016). El fuego compromete la diversidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Armenteras et al., 2020), al alterar una serie de procesos edáficos, hídricos y de dinámica de la vegetación. Por ejemplo, el Cerrado Brasileño, uno de los 35 puntos calientes de biodiversidad mundial y con una extensión de 2.5 millones de km<sup>2</sup>, es perturbado por fuegos frecuentes, muchos relacionados con origen en acciones humanas (Nail et al., 2020). Además, debido a la progresión del cambio climático y al aumento global de fuegos es esencial entender las consecuencias y la dinámica ecológica de estos ecosistemas (Walters, 2012).

El fuego actúa en múltiples escalas (Armenteras et al., 2020), tanto espaciales como temporales. El fuego es un factor que provoca cambios de mayor magnitud y de gran rapidez en los ecosistemas terrestres (Pfeifer et al., 2012; Li et al., 2014; Mendoca et al., 2015; Pellegrini, 2016; Gowlett, 2016; Connell et al., 2017). A gran escala es muy importante entender los regímenes de incendios, ya que estos influyen sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Un régimen de incendios se caracteriza por patrones consistentes de comportamiento, tiempo e intervalos (Cochrane & Ryan, 2009). El fuego utilizado como herramienta para eliminar residuos or-

gánicos y de esta forma limpiar el suelo (Armenteras et al., 2020), por ejemplo, en la preparación de campos de cultivo. Los incendios a nivel global producen altas emisiones del carbón, generando aproximadamente 2,0 petagramos de carbón anualmente (Muller et al., 2013). El fuego es un importante agente seleccionador (Ripley et al., 2015) dando como resultado plantas resistentes al fuego. Por tanto, realizar el mapeo de la distribución geográfica del fuego permite determinar el área afectada y establecer un registro cronológico de los incendios. El uso de sensores satelitales para monitorear la variación espacio-temporal del fuego es una herramienta eficiente para analizar la dinámica de los regímenes de incendios (Pfeifer et al., 2012; Kolden & Rogan, 2013).

Del 4% de la superficie terrestre que se quema aproximadamente cada año, el 80% corresponde a sabanas (Ratnam et al., 2020). Según Archivald et al (2020) las sabanas son un ecosistema difícil de definir y de poder mapear. Según estos autores, una manera simple y concreta para definir este ecosistema es como un continuo sotobosque dominado por hierbas C4 y un dosel arbolado discontinuo, que parece estar condicionado por aspectos climáticos, edáficos y ecológicos (Calabrese et al., 2010).

Existe una correlación muy estrecha entre la presencia de sabanas y la incidencia de fuegos (Laris et al., 2016), sea este de origen natural o antrópico. El fuego influye sobre la diversidad de especies (Heydari et al., 2017), la estructura de la vegetación (Parks et al., 2014; Devine et al., 2015), la concentración y distribución de los nutrientes en el suelo (Hernández & López, 2002), y la distribución espacial de las plantas (Levick et al., 2012; Just et al., 2016).

Las sabanas se distribuyen principalmente en áreas tropicales (Beringer et al., 2007) y cubren un 20% de la superficie terrestre (Lahmann et al., 2011), lo que equivale a aproximadamente a unos 33 millones de km<sup>2</sup> (Beerling et al., 2006). Cubren un 40% de las áreas tropicales, lo que representa unos 23 millones de km<sup>2</sup> (do Couto et al., 2014). En África cubren el 50% del continente (Osborne et al., 2018). También están presentes en Centroamérica, Sudamérica, El Caribe, el sureste de Asia y Australia (Cavelier et al., 1998).

Las sabanas húmedas están presentes en regiones con una estación seca corta de dos a tres meses y con una precipitación inferior a los 60 mm mensuales (Gómez, 1986). En este tipo de sabanas, el fuego es un factor fundamental en la existencia del ecosistema, pues evita que las áreas sean colonizadas por árboles y arbustos (Gignoux et al., 1997). Las sabanas húmedas parecen existir desde la mitad del periodo Cenozoico cuando las plantas C4 dominaron este ecosistema (Platt et al., 2016). En las sabanas húmedas, los árboles y arbustos se localizan principalmente en el fondo de los valles, los cuales son ocupados por ríos que sirven de refugio para las especies arbóreas, ya que el avance del fuego y sus efectos son de menor magnitud.

El objetivo de esta investigación es analizar la distribución espacial-temporal y la frecuencia del fuego en el ecosistema de sabana húmeda del sur Costa Rica durante el periodo 2001 al 2022 por medio de datos MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). De esta forma, establecemos un primer escenario para evaluar el impacto de la dinámica del régimen de fuegos a fin de generar información de base que mejore el manejo y conservación de este ecosistema, uno de los más amenazados y poco conocidos de Costa Rica.

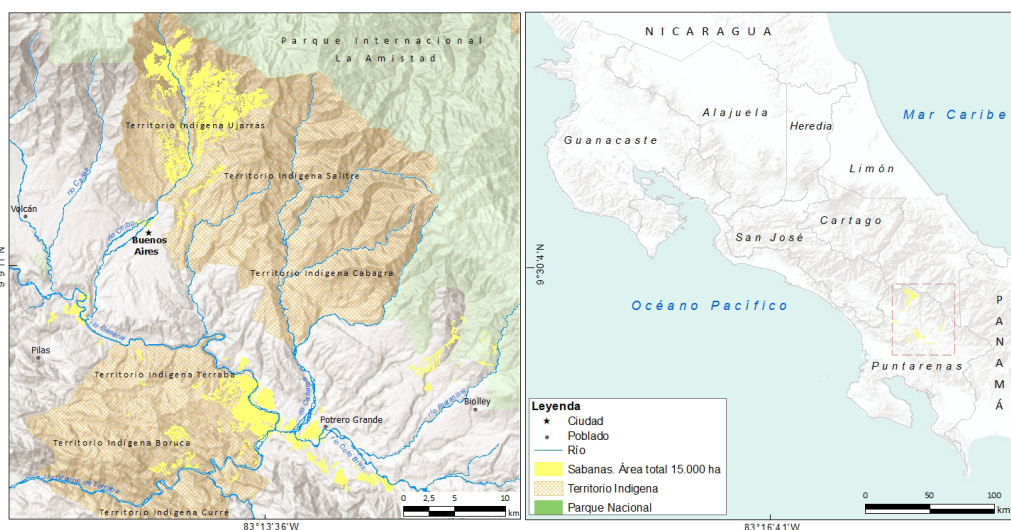
## Área de estudio

El área de estudio se localizó en la sección baja de la cuenca hidrográfica del Río General, con algunas áreas en la cuenca del Río Grande de Térraba (Figura N.º1). El área de sabana corresponde a una superficie de aproximadamente 15,000 hectáreas. Esta región se ubica dentro de la cuadrícula 4 de MODIS, y se extiende entre las coordenadas 7°N, 58°W y 33° N, 118° W. La geología y la geomorfología del área es heterogénea. El material parental consiste en rocas sedimentarias e ígneas de las formaciones Valle del General, Paso Real, Curré, Térraba, así como de cuerpos intrusivos del grupo granito-gabro Talamanca (Obando & Kussmaul, 2009; Alvarado et al., 2009; Artavia & Ávalos, 2020). La topografía varía entre plana a plano-ondulada en algunos sectores, principalmente en las inmediaciones de la ciudad de Buenos Aires. En el resto del área se encuentran pendientes muy inclinadas, sobre todo en la sección alta de la cuenca del Río Ceibo. Los suelos se asocian a los órdenes oxisoles y entisoles y se caracterizan principalmente por una baja fertilidad y un desarrollo muy diferenciado.

El clima es tropical húmedo (Gómez,1986) específicamente lluvioso con influencia amazónica (Solano y Villalobos, 2001) con una precipitación que oscila entre los 2000 y 3500 mm y una temperatura promedio de 27 °C (Vargas, 2006). La época lluviosa se extiende de abril a diciembre y la seca de diciembre a abril (Herrera, 2013). La dirección del viento predominante es SO y O, con valores promedio de entre 6 y 5.5 km/h (Muñoz et al., 2002). Los valores máximos de velocidad del viento se dan entre las 13 y las 15 horas y con una dirección predominante SO, alcanzando hasta 15.3 km/h durante el mes de febrero (Muñoz et al., 2002). Durante los meses secos fuertes vientos interaccionan con las condiciones topográficas locales. Estas corrientes de aire divagan entre profundos valles fluviales, a velocidades que en algunas ocasiones superan los 100 km/h.

**Figura N° 1**

Ubicación del área de sabanas húmedas en el pacífico sur de Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia

La vegetación predominante es la típica de sabana húmeda (Gómez, 1986). Las familias Poaceae y Cyperaceae aportan una buena cantidad de especies a la diversidad florística. Entre las especies de Poaceae y Cyperaceae identificadas en la zona y que constituyen la principal fuente de material combustible durante los fuegos tenemos: *Andropogon bicornis*, *Andropogon leucostachyus*, *Arundinella berteroniana*, *Axonopus aureus*, *Axonopus compressus*, *Dichantherium acuminatum*, *Dichantherium strigosum*, *Dichantherium viscidellum*, *Digitaria bicornis*, *Eleusine indica*, *Eragrostis pectinacea*, *Homolepis aturensis*, *Hyparrhenia rufa*, *Ischaemum latifolium*, *Leptocoryphium lanatum*, *Muhlenbergia lehmanniana*, *Pinicum laxum*, *Paspalum plicatulum*, *Schizachyrium brevifolium*, *Seteria parviflora*, *Thrasya robusta*, *Trachypogon plumosos*, *Bulbostylis junciformis*, *Bulbostylis juncooides*, *Bulbostylis paradoxa*, *Fimbristylis dichotoma*, *Kyllinga pumila*, *Rhynchospora aristata*, *Rhynchospora barbata*, *Rhynchospora globosa*, *Rhynchospora hirsuta*, *Rhynchospora nervosa*, *Rhynchospora polyphylla*, *Rhynchospora rugosa*, *Scleria distans*, *Scleria tenella*.

## Materiales y métodos

La identificación del área de sabana, se realizó en base a dos recursos: a) el material histórico cartográfico disponible y elaborado por el Instituto Geográfico Nacional, representado en las hojas cartográficas a escala 1:50.000 Coto Brus Changuena, Cabagra, General y Buenos Aires de los años 1975, que muestran una visión histórica de la extensión del ecosistema en el sur de Costa Rica y b) como segundo recurso se digitalizó el área de sabana sobre una imagen satelital RapidEye de cinco metros de resolución del año 2013. Sobre el producto obtenido, se realizó una depuración del área catalogada como sabana, esto con base en identificación florística y estructural de campo. Dicha depuración, ha mostrado una amplia evolución en el tiempo y el espacio ya que se ha observado una constante modificación del área de sabana.

Para el análisis de fuegos, se recopilaron, sistematizaron y analizaron datos del repositorio abierto <http://modis-fire.umd.edu> (MODIS) para el periodo 2001 - 2022. El producto MCD64A1 versión 6 MODIS (Terra y Aqua) tiene una resolución de píxel de 500 m. El enfoque de mapeo de área quemada MCD64A1 emplea imágenes de 500 m de MODIS Surface Reflectance, junto con observaciones de fuego activo MODIS de 1 km<sup>2</sup>. El algoritmo utilizó un índice de vegetación sensible al fuego (VI) para crear umbrales dinámicos que se aplican a los datos compuestos (Giglio et al., 2020).

El VI se derivó de las bandas 5 y 7 de reflectancia superficial infrarroja MODIS de onda corta, con corrección atmosférica y con una medida de textura temporal. El algoritmo identificó la fecha de grabación para las celdas de la cuadrícula de 500 m dentro de cada mosaico MODIS individual. La fecha fue codificada en una sola capa de datos, con el día ordinal del año calendario en el que se produjo el fuego. También se asignaron valores a los píxeles no quemados y valores adicionales reservados para los datos faltantes y las celdas de cuadrículas que presentaron cuerpos de agua (Giglio et al., 2015).

La determinación de la frecuencia del área quemada para un mismo lugar se estimó por medio de la herramienta de geoprocésamiento Collect Events de ArcGis Desktop 10.8. Para esto, se recopilaron los eventos coincidentes de áreas quemadas que tuvieran exactamente las mismas coordenadas de latitud y longitud del centroide. Posteriormente, se realizó una clasificación de las frecuencias de áreas quemadas por medio de las rupturas naturales (Jenks) que crearon tres

cortes de valores similares, que se agrupan mejor y maximizan las diferencias entre sí, para este caso el mapa resultante, es decir las clases resultantes fueron de 1 a 3 (687 elementos), 4 a 5 (881 elementos), 6 a 8 (281 elementos).

Los formatos de procesamiento del repositorio facilitaron que los datos geográficos pudieran ser trabajados en formato *Hierarchical Data Format* (HDF), *Georeferenced Tagged Image File Format* (GeoTIFF) o *Shapefile* de ESRI. Se utilizó el software ArcGis Desktop 10.8 para la creación de una *Geodatabase* que sirvió para consultar y analizar la variabilidad espacial y temporal del fuego en el área de estudio.

## Resultados

Durante el periodo 2001 al 2022 se quemaron un total de 13.224,6 ha de sabana. Dentro de este intervalo temporal, ocho años no presentan registro de fuego (2003, 2005, 2008, 2010, 2011,

**Cuadro N° 1**

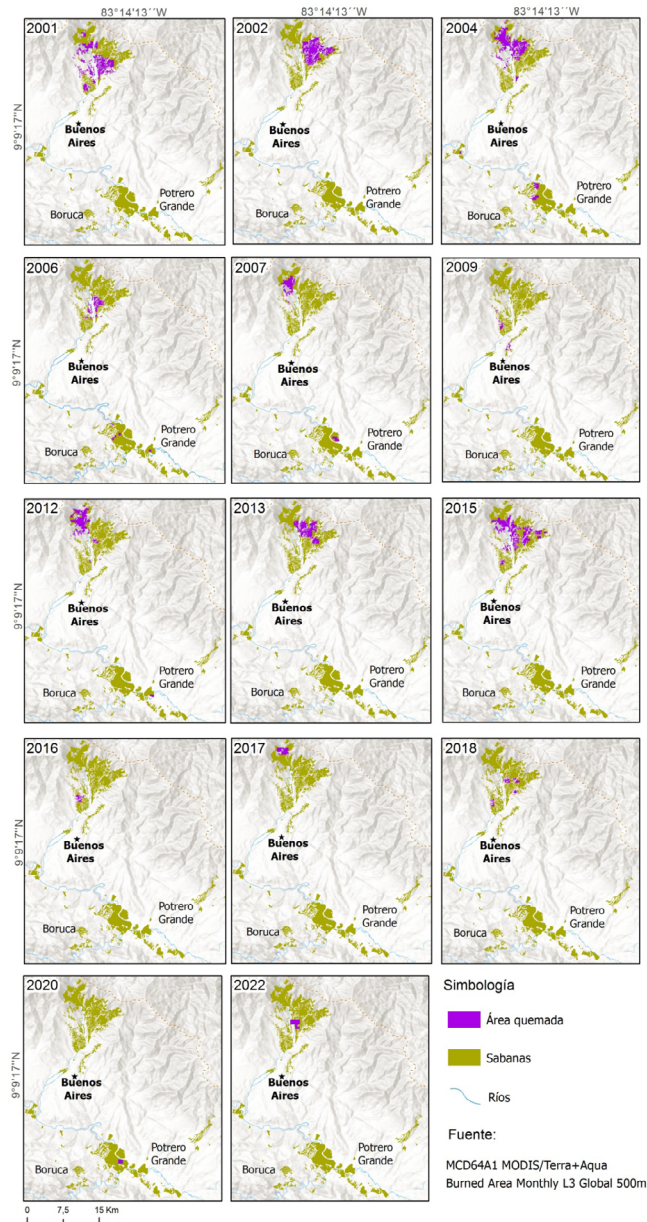
Área de sabana húmeda en el sur de Costa Rica afectada por fuegos durante el periodo 2001-2022.

<b>AÑO</b>	<b>ÁREA QUEMADA (HA)/(%)</b>	<b>MES/DÍAS</b>	<b>ÁREA QUEMADA MENSUAL (HA)</b>	<b>PRECIPITACIÓN (MM)</b>	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO (KM/H)</b>
2001	1.762,7/(13,3)	Febrero (15)	1.635,0	123,4	15,3
		Marzo (3)	127,2	83,7	9,3
2002	1.554,4/(11,7)	Marzo (6)	1.223,5	123,1	14,1
		Abril (5)	330,9	160,9	13,8
2004	3.948,1/(29,8)	Marzo (20)	3.927,6	191,6	9,7
		Abril (3)	20,5	178,2	9,7
2006	547,5/(4,1)	Marzo (7)	547,5	28,8	8,3
2007	623,7/(4,7)	Marzo (12)	623,7	81,9	7,5
2009	151,4/(1,1)	Febrero (4)	92,3	0,0	10,1
		Marzo (5)	59,1	104,8	8,2
2012	1.127,0/(8,5)	Febrero (2)	54,6	10,3	10,3
		Marzo (12)	1.072,4	104,6	10,9
2013	1.057,8/(8,0)	Enero (3)	142,0	41,5	9,8
		Febrero (7)	718,2	30,4	8,4
		Marzo (6)	197,5	129,2	9,1
2015	1.800,1/(13,6)	Enero (2)	78,8	73,0	10,9
		Febrero (4)	174,9	158,9	7,9
		Marzo (8)	1.219,5	167,7	7,8
		Abril (7)	326,8	182,4	6,4
2016	121,7/(0,9)	Febrero (3)	121,7	66,9	9,9
2017	274,8/(2,0)	Marzo (7)	274,8	94,5	8,2
2018	254,9/(1,9)	Febrero (4)	147,2	3,0	9,7
		Marzo (5)	107,7	55,4	Nd
2020	78,84/ ( )	Marzo (1)	78,84	133,6	Nd
2022	188,36/( )	Febrero (6)	188,36	23,6	15,3

Fuente: elaboración propia

**Figura N° 2**

Distribución espacio-temporal del área quemada de sabana húmeda durante el período 2001-2022, Buenos Aires, Osa, Costa Rica.



Fuente: elaboración propia

2014, 2019 y 2021). Esto se podría deber no a la ausencia de fuegos sino a su pequeño tamaño y por tanto no registrado por el sensor dada su resolución espacial. El año con mayor superficie de área quemada fue el 2004 con 3.948 ha afectadas, lo que correspondió a un 29,8% del área total de sabanas húmedas del sur de Costa Rica afectada por fuego (Cuadro 1).

A nivel mensual, los fuegos se concentraron principalmente en los meses de enero, febrero, marzo y abril. Algunas pequeñas superficies se quemaron durante el resto del año. Marzo fue el mes en que más superficie de sabana se quemó, con un total de 9.380,8 ha. El segundo mes con mayor incidencia de incendios fue febrero con un total de 2.944 ha quemadas, y en particular febrero del año 2001 con 1.762,7 ha.

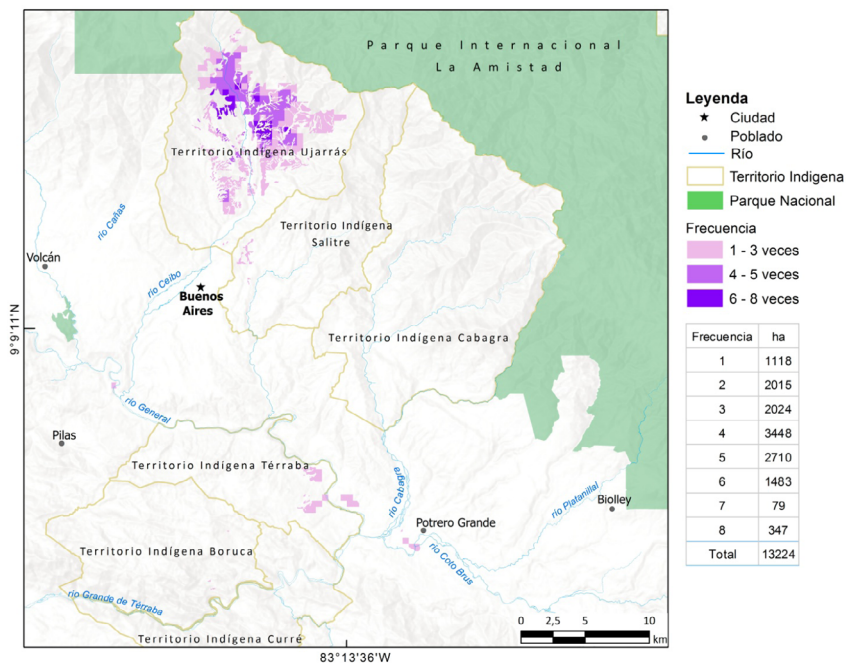
Durante el mismo periodo de observación, se registró un total de 150 días con presencia de fuego. El año con mayor número de días con fuego fue el 2004 con un total de 23 días; veinte de estos tuvieron lugar en marzo y tres en abril, y se quemaron respectivamente 3.927,6 ha y 20,5 ha. En promedio se quemaron 88 ha durante los 150 días de incendio en las sabanas. El año 2004, en promedio, mostró una cifra cercana al doble de la del periodo bajo análisis con 171,6 ha. El evento de fuego del 2004 se desarrolló en tres intervalos: el primero entre el 10 y el 16 de marzo, el segundo (y más extenso) entre el 19 y el 29 de marzo, y finalmente el tercero el 3, 5 y 14 de abril.

La distribución espacio-temporal del área de sabana quemada en el periodo 2001-2022 mostró una evidente concentración en las sabanas localizadas dentro del área de la cuenca hidrográfica del Río Ceibo, específicamente dentro del territorio indígena Ujarrás (Figura N°2).

La frecuencia de fuegos fue muy variable. Existieron casos de áreas que solo se quemaron en una ocasión, mientras que otras sufrieron de seis a ocho eventos de fuego (Figura N°3). La

**Figura N° 3**

Frecuencia de fuegos en las áreas con ecosistema de sabana húmeda en el sur de Costa Rica del año 2001 al año 2022.



Fuente: elaboración propia



superficie con mayor frecuencia de incendios se localizó en la cuenca alta del Río Ceibo y cubrió un área aproximada de 347 ha.

## Discusión

La relación entre la incidencia de fuegos y la presencia del ecosistema de sabanas húmedas en el sur de Costa Rica parece tener una larga historia. Kesel (1983) analizó sedimentos lacustres extraídos en sitios localizados dentro de la cuenca del Río Ceibo y reporta la presencia de vegetación de sabana entre 17,050 y 8,810 años antes del presente. Dicha vegetación podría estar asociada a fuegos. Otras investigaciones paleoambientales en sitios cercanos a las sabanas han corroborado este patrón (Clements & Horn, 2001; Horn et al., 2017; Johanson et al., 2020). Por otra parte, el uso del fuego por los aborígenes previo a la conquista ha sido suficientemente documentado (Fonseca et al., 2017), pues estas culturas prehispánicas lo utilizaban como una técnica agrícola con mucha frecuencia (Artavia & Ávalos, 2020).

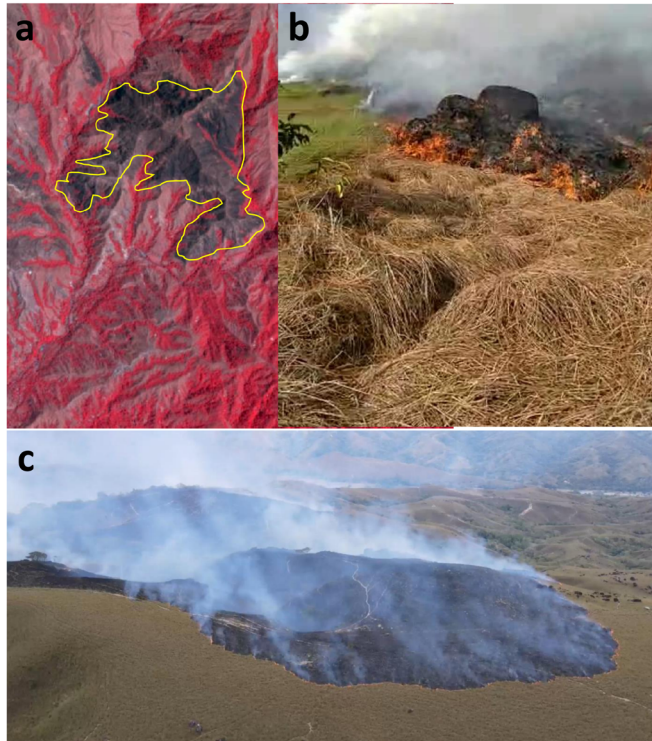
Las causas de los fuegos en las sabanas húmedas del sureste de Costa Rica todavía no están claras. Los fuegos ocurren principalmente en época seca donde no se tiene reportado en tiempos históricos la caída de rayos que pudieran iniciar un incendio espontáneo. Por esto, los fuegos probablemente son de origen antrópico y podrían estar asociados a acciones de vandalismo, cacería, y quemas agrícolas que se salen de control.

En tiempos históricos, incendios recurrentes han afectado el área de las sabanas húmedas (Barrantes, 2015) y han consumido cientos de hectáreas anualmente. El análisis demuestra que aproximadamente 13,224.6 ha se han quemado durante el periodo de análisis (Figura N°4). Los fuegos se presentan durante la época seca y muestran una relación con la estacionalidad climática pues están concentrados al final de este periodo. Esto concuerda con lo observado en otras áreas de sabana presentes en zonas de clima estacional (Laris, 2011; La Paget et al., 2010). Sin embargo, los datos meteorológicos de la Estación La PINDECO (IMN), muestran una precipitación de 150mm durante este tiempo. Esta lluvia se podría ver como un factor que disminuya la intensidad de los fuegos, sin embargo, se debe tener en cuenta por lo menos dos factores: el primero la estación meteorológica se encuentra cerca pero no dentro del área de sabana, por tanto la cantidad de precipitación registrada no necesariamente está cayendo sobre el área de sabana. El segundo factor tiene que ver con la poca capacidad de retención de humedad que tienen los suelos de las sabanas; esto debido a su composición de textura que hace que el agua precipitada rápidamente se infiltre y se produzca una condición de desecación.

Por otra parte, los fuegos que se producen durante la época lluviosa están asociados a periodos secos breves de reducida o nula precipitación, lo que crea las condiciones propicias para que se presenten pequeños incendios inferiores a 1 ha y que son producto de la acción humana y del estrés hídrico y edáfico que sufre la vegetación herbácea, lo que permite que la materia orgánica pueda quemarse fácilmente. Los incendios en la época lluviosa no se han podido cuantificar con exactitud, ya que el tamaño de píxel de MODIS no lo permite a esta escala de análisis dada la pequeña área que cubren. Por otro lado, por ejemplo, la incidencia de fuegos durante el periodo lluvioso ha sido reportada en las sabanas australianas, aunque en este caso son provocados por la caída de rayos (Andersen et al., 2003

**Figura N° 4**

Fuego avanzando sobre sabana Ujarrás. a. Huella de calcinación de pastos sobre imagen infrarroja Sentinel 2 (resolución espacial 20 metros) b. Fuego consumiendo a la gramínea *Thrasya robusta* c. Foto aérea oblicua del fuego avanzando por la sabana Ujarrás, 15 de marzo 2021



Fuente: elaboración propia

Los fuegos de finales de la época seca (marzo y abril) están relacionados con una menor cantidad de precipitación, elevadas temperaturas, fuertes vientos, y condiciones de estrés hídrico (Hantson et al., 2015). Estas características aumentan la cantidad de área de sabana incinerada al final de la época seca. La mayor cantidad de área de sabana quemada en los años 2004 y 2015 podrían estar relacionadas con las condiciones climáticas asociadas al fenómeno del El Niño, que estuvo activo entre julio del 2004 y febrero del 2005, y entre setiembre de 2014 y marzo de 2016 (NOAA). La fase cálida de este fenómeno produce condiciones secas y una distribución irregular de las precipitaciones (Retana & Rosales, 2000). Esta relación entre el fenómeno de El Niño (fase cálida) y los fuertes incendios que han afectado sabanas y bosques ha sido reportada en otras latitudes (Fonseca et al., 2017). Las 1.762,7 ha de sabana que se quemaron durante el 2001 podrían estar relacionadas con el evento La Niña (fase húmeda fría) que estuvo activo desde junio de 1998 y hasta enero del 2001, provocando posiblemente una importante acumulación de materia orgánica que sirvió como combustible para dichas quemadas.

De las 13,224.6 hectáreas quemadas durante el periodo 2001-2022 la mayoría se concentraron en las sabanas húmedas de la cuenca hidrográfica media y alta del río Ceibo área donde se localiza la mayor superficie de sabana de todo el sureste de Costa Rica. En esta área, los fuegos

siempre inician en las partes bajas de las laderas, ya que de esta forma adquieren más fuerza y velocidad sobre todo cuando hay presencia de vientos con velocidades de 10 a 15 kilómetros por hora (Villanueva comunicación personal, 2023). Al respecto Vargas & Román (2018) demostraron que hay una relación entre el relieve y los fuegos, pues las pendientes pronunciadas están asociadas a vientos de mayor intensidad que facilitan la propagación del fuego.

## Conclusiones

Los fuegos en las sabanas húmedas del pacífico sur de Costa Rica se concentran principalmente en los meses de enero, febrero, marzo y abril, con una mayor afectación en marzo. Esto coincide con la época seca del pacífico costarricense. Durante los veintiún años de análisis (2001 – 2022), el área total de sabana que se quemó fue de 13.224 hectáreas, que representa un 88% del total del área de sabanas (15.000 hectáreas) que existen en el pacífico sur de Costa Rica. Se determinó que el área de sabana con mayor frecuencia de fuegos se localiza dentro del territorio indígena Ujarrás, específicamente en la cuenca media y alta del río Ceibo. Algunos sectores del ecosistema de sabana han registrado de seis a ocho eventos de fuego durante el periodo temporal bajo análisis. La reconstrucción espacial y temporal del fuego que se reporta en este artículo representa el inicio de un monitoreo de largo plazo que facilite el análisis de la evolución del régimen de fuegos en el área ocupada por sabana. Este tipo de análisis es fundamental para mejorar el manejo y protección de este ecosistema tan poco conocido. Sin embargo, se hace necesario pensar en utilizar un producto diferente al MCD64A1 dadas las dificultades de este para poder registrar fuego que afecten pequeñas áreas de sabana y que en este estudio están siendo invisibles dadas las limitaciones del producto. También se debe determinar con más propiedad el área cubierta por el ecosistema en estudio y así disminuir aún más un posible sobregistro de superficie cubierta para este ecosistema en el pacífico sur de Costa Rica.

## Referencias bibliográficas

- ALVARADO, G.; BARQUERO, R.; TAYLOR, W.; LÓPEZ, A.; CERDAS, A. & MURILLO, J. Geología de la Hoja General. *Revista Geológica de América Central*, 2009, Vol. 40. doi: 10.15517/RGAC.VOI40.4189
- ARCHIBALD, S.; BOND, W.; HOFFMAN, W.; LEHMANN, C.; STAVER, C. & SEVENS, N. Distribution and Determinants of Savanna. En: SCOGINGS, P. y SANKARAN, M. *Savanna Woody and Large Herbivores*. West Sussex, UK. John Wiley & Sons, Inc, 2020, p. 3-17.
- ARMENTERAS, D.; GONZÁLEZ, T.; VARGAS, O.; MEZA, M. & OLIVERAS, I. Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasia*, 2020, Vol. 42. doi: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>
- ARTAVIA, G. & ÁVALOS, G. Historia natural del ecosistema de sabana del Valle del Río General, Costa Rica. *Revista Geográfica*, 2020, Vol. 161. Disponible en internet: <https://revistasipgh.org/index.php/regeo/article/view/861/1323>

BARRANTES, C. *El Lejano Diquis*. Costa Rica. San José de Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia (UNED), 2015.

BEERLING, D. & OSBORNE, C. The origin of the savanna. *Global Change Biology*, 2006, Vol. 12. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01239.x

BERINGER, J.; HUTLEY, L.; TAPPER, N. & CERNUSAK, L. Savanna fires and their impact on net ecosystem productivity in North Australia. *Global Change Biology*, 2007, Vol. 13. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01334.x

BOWMAN, D.; BALCH, J.; ARTAXO, P.; BOND, W.; CARLSON, J.; COCHRANE, M.; D'ANTONIO, DE-FRIES, R.; DOYLE, J.; HARRISON, S.; JOHNSTON, F.; KEELEY, J.; KRAWCHUK, M.; KULL, C.; MARSTON, J.; MORITZ, M.; PRENTICE, I.; ROOS, C.; SCOTT, A.; SWETNAM, T.; VAN DER WERF, G. & PYNE, S. Fire in the Earth System. *Science*, 2009, Vol. 324. doi: 10.1126/science.1163886

CAVELIER, J.; AIDE, T.; SANTOS, C.; EUSSE, A. & DUPUB, J. The savannization of moist forests in the Sierra Nevada de Santa Marca, Colombia. *Journal of Biogeography*, 1998, Vol. 25. doi:10.1046/j.1365-2699.1998.00222.x

CALABRESE, J.; VAZQUEZ, F.; LÓPEZ, C.; SAN MIGUEL, M. & GRIMM, V. The Independent and Interactive Effects of Tree Tree Establishment Competition and Fire on Savanna Structure and Dynamics. *The American Naturalist*, 2010, Vol. 175, No. 3. doi:10.1086/650368

CLEMENT, R. & HORN, S. Pre-Columbian land-use history in Costa Rica: a 3000-year record of forest clearance, agriculture and fires from Laguna Zoncho. *The Holocene*, 2001, No. 4. doi:10.1191/095968301678302850

Cochrane, M. & Ryan, K. Fire and fire ecology: Concepts and principles. En: Cochrane, M. *Tropical fire ecology. Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics*. Chichester, UK. Springer, 2009, p. 25-62.

CONNELL, J.; WATSON, S.; TAYLOR, R.; AVITABILE, S.; CLARKE, R.; BENNETT, A. & CLARKE, M. Testing the effects of a century of fires: Requirements for post-fire succession predict the distribution of threatened bird species. *Diversity and Distributions*, 2017, No. 9/10. doi: doi.org/10.1111/ddi.12597

DEVINE, A.; STOTT, I.; MCDONALD, R. & MACLEAN, I. Woody cover in wet and dry African savannas after six decades of experimental fires. *Journal of Ecology*, 2015, No. 2. doi:10.1111/1365-2745.12367

DIJKSTRA, F. & ADAMS, M. Fire Eases Imbalances of Nitrogen and Phosphorus in Woody Plants. *Ecosystems*, 2015, No. 5. doi:10.1007/s10021-015-9861-1

DO COUTO, S.; BUSTAMANTE, M.; PALACE, M.; HAGEN, S.; KELLER, M. & GUIMARÃES, L. Regional Variations in Biomass Distribution in Brazilian Savanna Woodland. *Biotropica*, 2015, No. 2. doi:10.1111/btp.12095

DOERR, S. & C., SANTÍN. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 2016, Vol. 371. doi:10.1098/rstb.2015.0345

EBY, S.; ANDERSON, T.; MAYEMBA, E. & RITCHIE, M. The effect of fire on habitat selection of mammalian herbivores the role of body size and vegetation characteristics. *Journal of Animal Ecology*, 2015 Vol. 83, No. 5. doi:10.1111/1325-2656.12221

FONSECA, M.; ANDERSON, L.; ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y.; XAUD, H.; XAUD, M.; MADANI, N.; WAGNER, F. & ARAGÃO, L. Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015–2016 El Niño event. *Ecological Applications*, 2017, Vol. 27, No. 8. doi:10.1002/eap.1628

GIGLIO, L.; JUSTICE, C.; BOSCHETTI, L.; & ROY, D. MCD64A1 MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS. Land Processes DAAC, 2015, doi.org/10.5067/MODIS/MCD64A1.006

GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D.; HOFFMANN, A.; & HUMBER, M. Collection 6 MODIS Burned Area Product User's Guide Version 1.3. 2020. Disponible en internet: <https://lpdaac.usgs.gov/documents/875/MCD64UserGuideV6.pdf>

GIGNOUX, J.; CLOBERT, J. & MENAUT, J. Alternative fire resistance strategies in savanna trees. *Oecologia*, 1997, Vol. 110, No. 4. doi:doi.org/10.1007/s004420050198

GÓMEZ, L. *Vegetación de Costa Rica: apuntes para una biogeografía costarricense*. San José de Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia, 1986.

GOWLETT, J. The discovery of fire by humans: a long and convoluted process. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 2016, Vol. 371, No. 1696. doi:doi.org/10.1098/rstb.2015.0164

HANTSON, S.; PUEYO, S. & CHUVIECO, E. Global fire size distribution is driven by human impact and climate. *Global Ecology and Biogeography*, 2015, Vol. 24, No. ½. doi:10.1111/geb.12246

HERNÁNDEZ, I. & LÓPEZ, D. Pérdida de nutrimentos por la quema de vegetación en una sabana de Trachypogon. *Revista Biología Tropical*, 2002, Vol. 50, No. ¾. Disponible en internet: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/16620>

HERRERA, W. Costa Rica a vista de pájaro una visión aerofotográfica y bioclimática a través de paisajes naturales y urbanos. San José Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica y Editorial Universidad Estatal a Distancia. 2013.

HEYDARI, M.; OMIDIPOUR, R.; ABEDI, M. & BASKIN, C. Effects of fire disturbance on alpha and beta diversity and on beta diversity components of soil seed banks and aboveground vegetation. *Plant Ecology and Evolution*, 2017, Vol. 150, No. 3. doi:doi.org/10.5091/plecevo/2017.1344

HORN, S.; JOHANSON, E.; HABERYAN, K.; BOEHM, M.; JOHANSON, J.; SÁNCHEZ, M. & HERNÁNDEZ, M. Initial limnological observations at five small lakes in southern Pacific Costa Rica. *UNED*

*Research Journal*, 2017, Vol. 10, No. 1. Disponible en Internet: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/view/2015>

JOHANSON, E.; HORN, S.; LANE, C.; SÁNCHEZ, M. & CECIL, J. Fire history across the Little Ice Age in southern Pacific Costa Rica. *Journal Paleolimnology*, 2020, Vol. 64. doi: [doi.org/10.1007/s10933-020-00118-0](https://doi.org/10.1007/s10933-020-00118-0)

JUST, M.; HOHMANN, M. & HOFFMANN, W. Where fire stops: vegetation structure and microclimate influence fire spread along an ecotonal gradient. *Plant Ecology*, 2016, Vol. 217, No. 6. doi: [10.1007/s11258-015-0545-x](https://doi.org/10.1007/s11258-015-0545-x)

KESEL, R. 1983. Quaternary History of the Río General Valley, Costa Rica. En: Oehser, P.H., Lee, J.S. y Powars, N.L. (eds), *National Geographic Society Research Reports*, Vol. 15. p. 339-358.

KOLDEN, C. & ROGAN, J. Mapping Wildfire Burn Severity in the Arctic Tundra from Downsampled MODIS Data. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2013, Vol. 45, No. 1. doi: [doi.org/10.1657/1938-4246-45.1.64](https://doi.org/10.1657/1938-4246-45.1.64)

LARIS, P. Humanizing Savanna Biogeography: Linking Human Practices with Ecological Patterns in a Frequently Burned Savanna of Southern Mali. *Annals of the Association of American Geographers*, 2011, Vol. 101, No. 5. doi: [doi/abs/10.1080/00045608.2011.560063](https://doi.org/10.1080/00045608.2011.560063)

LARIS, P.; DADASHI, S.; JO., A. & WECHSLER, S. Buffering the savanna: fire regimes and disequilibrium ecology in West Africa. *Plant Ecology*, 2016, Vol. 217, No. 5. doi: [10.1007/s11258-016-0606-0](https://doi.org/10.1007/s11258-016-0606-0)

LEHMANN, C.; ARCHIBALD, S.; HOFFMANN, W. & BOND, W. Deciphering the distribution of the savanna biome. *The New Phytologist*, 2011, Vol. 191, No. 1. doi: [10.1111/j.1469-8137.2011.03689.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03689.x)

LE PAGE, Y.; OOM, D.; SILVA, J.; JÖNSSON, P. & PEREIRA, J. Seasonality of vegetation fires as modified by human action: observing the deviation from eco-climatic fire regimes. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, Vol. 19, No. 4. doi: [10.1111/j.1466-8238.2010.00525.x](https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00525.x)

LEVICK, S.; ASNER, G. & SMIT, I. Spatial patterns in the effects of fire on savanna vegetation three-dimensional structure. *Ecological Applications*, Vol. 22, No. 8. doi: [10.1890/12-0178.1](https://doi.org/10.1890/12-0178.1)

LI, F.; BOND, B. & LEVIS, S. Quantifying the role of fire in the Earth system – Part 2: Impact on the net carbon balance of global terrestrial ecosystems for the 20th century. *Biogeosciences*, 2014, Vol. 11. doi: [10.5194/bg-11-1345-2014](https://doi.org/10.5194/bg-11-1345-2014)

MENDONÇA, A.; ARMOND, T.; CAMARGO, A.; CAMARGO, N.; RIBEIRO, J.; ZANGRANDI, P. & VIEIRA, E. Effects of an extensive fire on arboreal small mammal populations in a neotropical savanna woodland. *Journal of Mammalogy*, 2015, Vol. 96, No. 2. doi: [10.1093/jmammal/gyv038](https://doi.org/10.1093/jmammal/gyv038)

MÜLLER, D.; SUESS, S.; HOFFMANN, A. & BUCHHOLZ, G. The Value of Satellite-Based Active Fire Data for Monitoring, Reporting and Verification of REDD+ in the Lao PDR. *Human Ecology*, 2013, Vol. 41. doi: [10.1007/s10745-013-9565-0](https://doi.org/10.1007/s10745-013-9565-0)

MUÑOZ, A.; FERNÁNDEZ, W.; GUTIÉRREZ, J. & ZÁRATE, E. Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Top. Meteor. Oceanog*, 2002, Vol. 9, No. 1.

MUÑOZ, A.; FERNÁNDEZ, W.; GUTIÉRREZ, J. & ZÁRATE, E. Distribución horaria de la magnitud del viento en Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanog*, 2002, Vol. 9, No. 1.

NAIL, R.; BEKER, C.; ZAMUDIO, K. & PRADO, C. Topography, more than land cover, explains genetic diversity a Neotropical savanna tree frog. *Diversity and Distributions*, 2020, Vol. 26, No. 12. doi:10.1111/ddi.13514

OBANDO, L. & KUSSMAUL, S. Geología de la Hoja Buenos Aires, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 2009, Vol. 41. Disponible en Internet: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/4184>

PELLEGRINI, A. Nutrient limitation in tropical savannas across multiple scales and mechanisms. *Ecology*, 2016, Vol. 97, No. 2. doi:10.1890/15-0869.1

PFEIFER, M.; DISNEY M.; QUAIFE T. & MARCHANT R. Terrestrial ecosystems from space: a review of earth observation products for macroecology applications. *Global Ecology and Biogeography*, 2012, Vol. 21, No. 5/6. doi:10.1111/j.1466-8238.2011.00712.x

PLATT, W.; ELLAIR, D.; HUFFMAN, J.; POTTS, S. & BECKAGE, B. Pyrogenic fuels produced by savanna trees can engineer humid savannas. *Ecological Monographs*, 2016, Vol. 86, No. 3. doi:org/10.1002/ecm.1224

RATNAM, J.; BOND, W.; FENSHAM, R.; HOFFMANN, W.; ARCHIBALD, S.; LEHMANN, C.; ANDERSON, M.; HIGGINS, S. & SANKARAN, M. When is a 'forest' a savanna, and why does it matter?. *Global Ecology and Biogeography*, 2011, Vol. 20, No. 5. doi:10.1111/j.1466-8238.2010.00634.x

RATNAM, J.; SHETH, C. & SANKARAN, M. African and Asian Savannas: Comparisons of Vegetation Composition and Drivers of Vegetation Structure and Funcion. En: SCOGINGS, P. y SANKARAN, M. *Savanna Woody and Large Herbivores*. West Sussex, UK. John Wiley & Sons, Inc, 2020, p. 25-42.

RETANA, J. & ROSALES, R. Imapacto de la fase cálida de ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) sobre algunas variables productivas del ganado de carne en Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanog*, 2000, Vol. 7, No. 1.

RIPLEY, B.; VISSER, V.; CHRISTIN, P.; ARCHIBALD, S.; MARTIN, T. & OSBORNE, C. Fire ecology of C 3 and C 4 grasses depends on evolutionary history and frequency of burning but not photosynthetic type. *Ecology*, 2015, Vol. 96, No. 10. doi: org/10.1890/14-1495.1

SENENING, R.; DEMMENT, M. & LACA, E. Allometric scaling predicts preferences for burned patches in a guild of East African grazers. *Ecology*, 2010, Vol. 91, No. 10. doi:10.1890/09-1673.1

SOLANO, J. & VILLALOBOS, R. Aspectos Fisiográficos aplicados a un Bosquejo de Regionalización Geográfica Climático de Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanog*, 2001, Vol. 8, No. 1.

VARGAS, D. & ROMÁN, A. Influencia geomorfológica en la vulnerabilidad a incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 2018, Vol. 52, No. 2. doi:org/10.15359/rca.52-2.1

VARGAS, G. Geografía de Costa Rica. San José Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia, 2006.

WALTERS, G. Customary Fire Regimes and Vegetation Structure in Gabon's Bateke Plateaux. *Human Ecology*, 2012, Vol. 40, No. 6. doi:101007/s10745-012-9536-x

Conflicto de intereses.

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.