

Estimación de la carga de combustible presente en el sector El Hacha del Parque Nacional Guanacaste, Costa Rica

Estimation of the Fuel Load Present in the El Hacha Sector of the Guanacaste National Park, Costa Rica

Yarenis Chavarría-Valverde¹
Javier Rodríguez Yáñez²

DOI: 10.22458/rb.v33i1.4289

Recibido- Received: 03 /03/2022 / Corregido- Revised: 13/04/2022 / Aceptado- Accepted: 02/05/2022

RESUMEN

El Área de Conservación Guanacaste (ACG) en Costa Rica posee un sector llamado El Hacha, el cual presenta sitios vulnerables a incendios forestales, principalmente por causas antropogénicas. Los sitios muestran un ecosistema de sabana, donde se seleccionaron dos áreas de trabajo, una con afectación y otra sin afectación por incendio. La vegetación arbórea predominante en las áreas son el nance (*Byrsonima crassifolia*) con un total de 22 individuos y el raspaguacal (*Curatella americana*) con 131 individuos, mientras que el resto corresponde a herbáceas graminoides (HG). Las HG llegan a alcanzar un grado de cobertura de 95,4 % en el sitio sin quemar, mientras que en el sitio quemado predomina el suelo desnudo en 79,0 %. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, se obtiene que el poder calorífico mayor lo posee el raspaguacal con $17,2 \pm 0,6$ KJ g⁻¹, seguido por el nance y las HG. En contraposición, las HG tienen la mayor capacidad de perder humedad, pero propagan las llamas a menor velocidad, tanto a nivel horizontal como vertical, pero por más tiempo y con un nivel más bajo de opacidad que los componentes arbóreos. La carga de combustible estimada de ambos sitios se estima en 9149 MJ m⁻² en el sitio sin afectación y 1650 MJ m⁻² para el sitio afectado por el incendio, siendo las HG el factor de mayor aporte en el sector El Hacha.

Palabras clave: carga de combustible; incendios forestales; sabanas; vegetación; densidad; propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

The Guanacaste Conservation Area (GCA) in Costa Rica has a sector called El Hacha, where certain spots are vulnerable to forest fires, mainly due to anthropogenic causes. These sites present a savannah ecosystem, where two work areas were selected for the purpose of this research: one affected and the other unaffected by fire. The predominant tree vegetation in these areas is the nance (*Byrsonima crassifolia*) with a total of 22 individuals and raspaguacal (*Curatella americana*) with 131 individuals, while the rest corresponds to herbaceous graminoids (HG). The HG reach a degree of coverage of 95,4 % in the unburned site, while in the burned site, bare soil predominates by 79,0 %. Regarding physicochemical properties, it is observed that the highest calorific value is possessed by raspaguacal with $17,2 \pm 0,6$ KJ g⁻¹, followed by nance and HG. In contrast, the HG have the greatest capacity to lose moisture. They spread the flames at a lower speed, both horizontally and vertically, but for a longer period and with a low level of opacity, compared to the tree components. The estimated fuel load of both sites corresponds to 9149 MJ m⁻² in the unaffected site and 1650 MJ m⁻² in the site affected by the fire, being HG the greatest fire contribution factor in the El Hacha sector

Keywords: fuel load; forest fires; savannas; vegetation; density; physicochemical properties.

1 Programa de Investigación para la Promoción del Trabajo en Red (ProRed) y Red Estudiantil de Restauración Ecológica (RERE), Universidad Estatal a Distancia (UNED), San José, Costa Rica; yarenis3094@gmail.com

ID: <https://orcid.org/0000-0002-2145-8905>

2 Laboratorio de Ecología Urbana, Universidad Estatal a Distancia (UNED), San José, Costa Rica; jrodriguezy@uned.ac.cr

ID: <https://orcid.org/0000-0001-5539-3153>



Introducción

Según Vargas (1983), las sabanas en Costa Rica fueron formadas por actividades antrópicas, las cuales existían como lugares cenagosos que posteriormente fueron transformados en pastizales, principalmente por introducción de la especie exótica *Hyparrhenia rufa* (jaragua). Sin embargo, Gómez y Herrera (1986; citados por Jiménez, 2016), mencionan que las sabanas de Costa Rica son naturales ya que se encuentran dominadas por especies herbáceas graminoides nativas que contienen un estrato discontinuo de árboles bajos y arbustos en diferentes densidades, también dominantes en otras sabanas neotropicales (p. 74). En general, las sabanas se caracterizan por ser ecosistemas dinámicos, los cuales varían constantemente modificando su fisonomía, composición florística y sus procesos ecológicos; el dinamismo se genera a partir de alteraciones que pueden ser naturales o antropogénicas (Vargas, 1983).

Normalmente, las alteraciones se generan a partir de un incendio forestal, los cuales ocurren cuando la vegetación en la zona natural es abundante (combustible: materia viva o muerta) y afecta a las áreas quemadas en su desarrollo como biomas (Juárez y Cano, 2006).

El conocimiento del tipo de incendio forestal es necesario para aplicar las técnicas de manejo y control adecuadas en las áreas de conservación. Según la Comisión Nacional de Incendios Forestales (2010), los incendios forestales pueden ser de copas o aéreos, subterráneos y superficiales. En el caso de las sabanas, el tipo de incendio forestal tiende a ser superficial, son incendios donde el fuego se propaga de manera horizontal sobre la superficie, alcanza metro y medio de altura, además afecta combustibles vivos y muertos (Villers, 2006).

Un factor importante en este tipo de incendios forestales es la carga de combustible, una de las variables más importantes para el mantenimiento del fuego.

La falta de información dificulta la toma de decisiones para la ejecución de estrategias de manejo de incendios forestales. Donde los datos sobre disponibilidad y distribución de los combustibles permitirían apoyar propuestas referentes al control y combate del fuego, así como ser una referencia esencial para la implementación de modelos que simulen el comportamiento del mismo (Nájera y Graciano, 2006).

Uno de los sitios más recurrentemente quemados y poco estudiados en cuanto a su carga de combustible es el sector El Hacha en el ACG (Molinero y Santana, 2016). Debido a esto, el presente estudio plantea analizar la parte baja de la sabana del sector El Hacha del Parque Nacional Guanacaste, a fin de apoyar la toma de decisiones del ACG en el manejo y prevención de incendios. Para ello se considerarán como factores de análisis el tipo, la distribución y la densidad de vegetación existente, así como los datos fisicoquímicos asociados a la combustión de la misma (Nájera y Graciano, 2006; Sánchez y Zerecero, 1983).

Metodología

Área de estudio

Dentro de la parte baja del sector El Hacha, se identificaron dos sitios con diferente situación de afectación: el sitio de Laguna de Guayabal que había sido recientemente afectada por un incendio forestal, y el sitio de El Amo sin afectación. La ubicación de las mismas puede verse en las figuras 1 y 2.

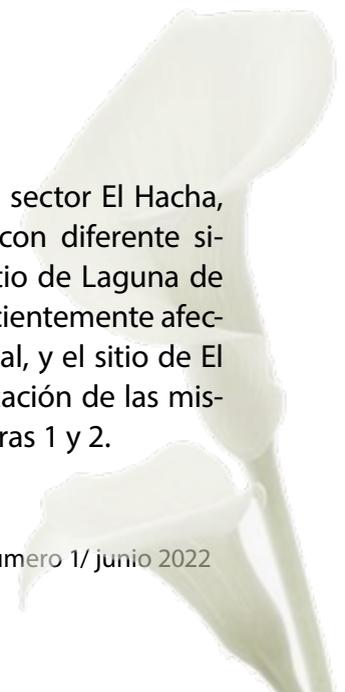
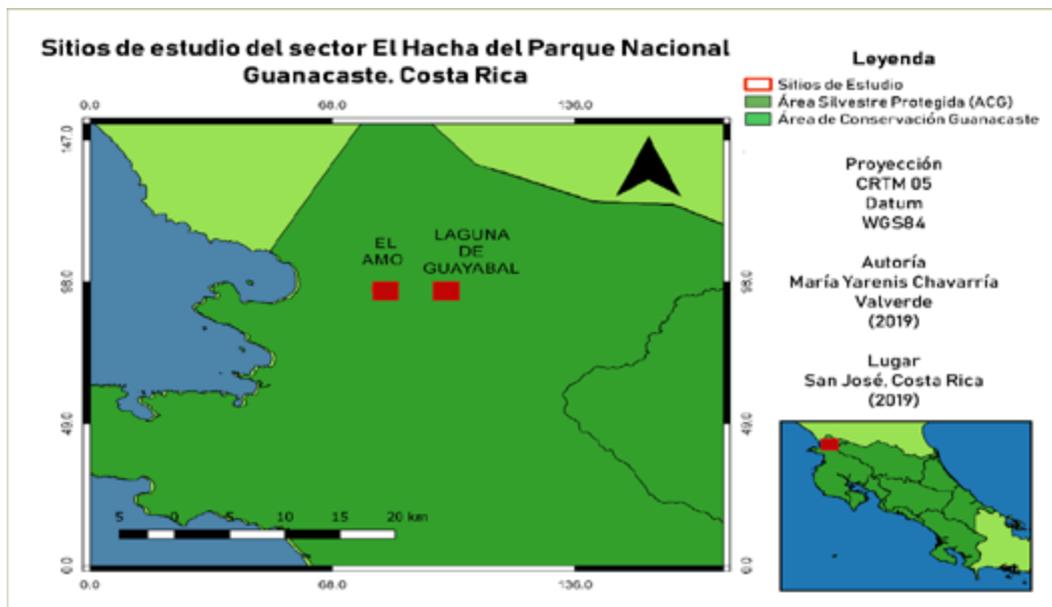


Figura 1
Sector El Hacha del Área de Conservación Guanacaste



Nota. Elaboración por Área de Conservación Guanacaste (2018) y modificado por Chavarría, Y (2019). Donde se muestra el sector El Hacha (en color amarillo) y el Área de Conservación Guanacaste (en color verde).

Figura 2
Sitios de estudio del sector El Hacha del Parque Nacional Guanacaste



Nota. Elaboración propia, los cuadros rojos indican los dos sitios de estudio (El Amo y la Laguna de Guayabal) del sector El Hacha.

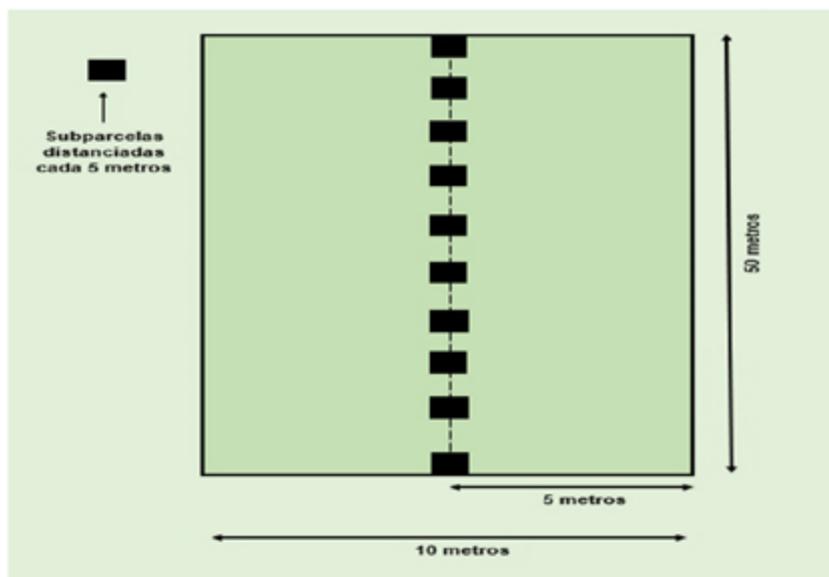
Densidad de cobertura vegetal en el sitio en estudio

Se realizaron cuatro visitas al campo en cada sitio para la toma de datos relacionada con el tipo de vegetación dominante y su densidad, así como la colecta de muestras para la determinación de propiedades fisicoquímicas. Para esto, se elaboraron seis parcelas aleatorias de 10 x 50 m en cada sitio, tomándose en cuenta únicamente que las parcelas estuvieran a 10 metros de distancia de cualquier calle o carretera.

En cada una de las parcelas se realizó un conteo de todos los componentes leñosos, midiendo su altura y su diámetro medido a

la altura del pecho (DAP). Los componentes leñosos se encontraron en al menos 50 % de todas las parcelas analizadas. Posteriormente, por medio de las subparcelas de 1x1 m (figura 3) se estimó el tipo de cobertura, utilizando una cuadrícula con tubos de PVC y mecate, dividida cada 10 centímetros. Se consideró en los estratos inferiores la composición según los siguientes parámetros: herbáceas gramíneas, herbáceas no gramíneas, suelo desnudo y roca. Se trabajó con porcentajes de cobertura la cantidad de cuadrantes que cubrió cada tipo de cobertura.

Figura 3
Subparcelas dentro de las parcelas en estudio



Nota. Elaboración propia, subparcelas elaboradas en las parcelas para cuantificar el porcentaje de cobertura de herbáceas gramíneas, no gramíneas, roca y suelo desnudo.

Propiedades fisicoquímicas de la vegetación dominante

Estas pruebas se realizaron sobre los componentes vegetales identificados y más predominantes en cada sitio.

- a. *Curvas de secado*: las curvas de secado se elaboraron en una balanza de secado (marca OHAUS, modelo MB35). A partir de las mismas se obtienen los parámetros descritos por Rodríguez Yáñez (2019) para la vegetación dominante en cada sitio.
- b. *Poder calorífico*: se analizó por medio de una bomba calorimétrica (marca Parr-Oxygen, modelo A50N), sobre las muestras trituradas y secadas previamente.
- c. *Densidad óptica de humo, la propagación horizontal de la llama y la propagación vertical de la llama*: se analizaron según se indican en los procedimientos de ASTM E662-14 (2014): método de ensayo de densidad óptica de humo, ASTM D5132-11 (2014): método de ensayo estándar para la tasa de combustión y propagación de la llama a nivel horizontal y ASTM D6413 – 08 (2014): método de ensayo estándar para la tasa de combustión y propagación de la llama a nivel vertical, respectivamente.
- d. *Carga de combustible*: se estimó la carga de combustible utilizando los datos de poder calorífico anteriormente calculados en la calorimetría y la densidad de herbáceas graminoides, planteados por Molinero y Santana (2016) y Martínez (2001). Para luego determinar la carga de combustible real utilizando el porcentaje de herbáceas graminoides presente en ambos sitios.

Resultados y discusión

Cobertura vegetal y densidad en los sitios de estudio

a. Sitio El Amo (sin afectación):

El sitio de El Amo se caracteriza por presentar tres especies leñosas de porte arbustivo, ellas son: *Anarcadium occidentale* (marañón), *Byrsonima crassifolia* (nance) y la *Curatella americana* (raspaguacal). Las cantidades de cada una de ellas se expresan en el cuadro 1, donde la mayoría son arbustos de raspaguacal, seguido por nance y marañón, con una amplia variación de alturas, aunque la mayoría de menos de 1m. A su vez, la *densidad arbustiva* es de 0,0293 arbustos por m² o un árbol cada 34,1 m².

Cuadro 1

Distribución de altura de las especies arbustivas en el sitio de El Amo

| Altura (cm) | Raspaguacal | Nance | Marañón |
|-------------|-------------|-------|---------|
| 30 | 9 | 8 | 1 |
| 40 | 3 | 7 | |
| 50 | 6 | 4 | |
| 60 | 3 | | 1 |
| 70 | 1 | | 1 |
| 80 | 5 | | 1 |
| 90 | | | 1 |
| 100 | 12 | 1 | |
| 150 | 4 | | 4 |
| 200 | 5 | 1 | |
| 300 | 5 | | |
| 400 | 3 | | |
| 500 | 2 | | |
| TOTAL | 58 | 21 | 9 |

Nota. Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en campo.

La medición del DAP es representativa en individuos de más de 1m, por lo que la cantidad de individuos en los que es posible medir es escasa. Por tanto, se realiza una consideración de la tendencia entre el DAP y la altura solamente para raspaguacal; la cual se expresa según la ecuación (1):

$$\text{Altura (cm)} = 34,12 \times \text{DAP (cm)} + 123,1$$

$$R^2 = 0,636 \quad (1)$$

La cobertura del suelo en El Amo se presenta en el cuadro 2, donde la predominancia es de herbáceas gramíneas, representando más de 95% de la cobertura. Como componentes secundarios en las parcelas, tenemos el suelo desnudo y las herbáceas no gramíneas.

Cuadro 2

Composición porcentual de la cobertura vegetal del suelo en el sitio de El Amo

| Parcela | Herbácea gramínea (%) | Herbácea no gramínea (%) | Suelo desnudo (%) | Roca (%) |
|-------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|----------|
| Parcela 1 | 95,2 | 0,6 | 4,2 | 0,0 |
| Parcela 2 | 96,9 | 0,4 | 0,3 | 0,0 |
| Parcela 3 | 97,1 | 2,9 | 0,0 | 0,0 |
| Parcela 4 | 93,6 | 0,9 | 5,5 | 0,0 |
| Parcela 5 | 92,4 | 0,0 | 7,6 | 0,0 |
| Parcela 6 | 97,3 | 0,0 | 2,7 | 0,0 |
| Promedio (%) | 95,4 | 0,8 | 3,4 | 0,0 |
| Desviación estándar (%) | 7,3 | 1,8 | 6,8 | 0,0 |

Nota. Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en campo.

b. Sitio de la Laguna de Guayabal (afectado):

Las especies arbustivas en ambos sitios son similares, con la misma discontinuidad de alturas entre plantas jóvenes (menores de 100

cm) y maduras, lo cual puede apreciarse en el cuadro 3. El sitio se caracteriza por tener mayor presencia casi exclusiva de individuos de raspaguacal (*Curatella americana*). Siendo la densidad arbustiva algo menor, con valores de 0,0247 arbustos por m², o sea un arbusto cada 40,5 m².

Cuadro 3

Distribución de altura de las especies arbustivas de la Laguna de Guayabal

| Altura (cm) | Raspaguacal | Nance |
|-------------|-------------|-------|
| 30 | 9 | |
| 40 | 4 | |
| 50 | 8 | |
| 60 | 4 | 1 |
| 70 | 4 | |
| 80 | 4 | |
| 90 | 1 | |
| 100 | 4 | |
| 200 | 8 | |
| 300 | 9 | |
| 400 | 2 | |
| 500 | 3 | |
| 600 | 2 | |
| 700 | 1 | |
| TOTAL | 73 | 1 |

Nota. Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en campo.

En este sitio se observa una relación entre DAP versus altura más dispersa para el raspaguacal, por lo que se obtiene un R² bajo, como se muestra en la ecuación (2):

$$\text{Altura (cm)} = 51,10 \times \text{DAP (cm)} + 28,29$$

$$R^2 = 0,316 \quad (2)$$

Debido a la afectación por el incendio en la Laguna de Guayabal, se muestra en el cuadro 4 una predominancia de la cobertura de suelo desnudo o rocas, siendo en general de 80% de la cobertura, seguido por herbáceas gramínoideas 16,6%.

Cuadro 4

Composición porcentual de la cobertura vegetal del suelo en Laguna de Guayabal

| Parcela | Herbácea gramínoidea (%) | Herbácea no gramínoidea (%) | Suelo desnudo (%) | Roca (%) |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------|----------|
| Parcela 1 | 9,1 | 1,6 | 87,8 | 1,3 |
| Parcela 2 | 10,0 | 5,1 | 84,3 | 1,1 |
| Parcela 3 | 15,0 | 1,0 | 81,9 | 1,6 |
| Parcela 4 | 16,9 | 2,8 | 79,2 | 0,5 |
| Parcela 5 | 23,8 | 1,5 | 70,3 | 4,5 |
| Parcela 6 | 25,0 | 3,5 | 70,5 | 1,0 |
| Promedio (%) | 16,6 | 2,6 | 79,0 | 1,7 |
| Desviación estándar (%) | 3,5 | 2,5 | 6,1 | 3,7 |

Nota. Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en campo.

Lo anterior muestra que entre ambos sitios existe una diferencia en cuanto a la cantidad de las arbustivas y su densidad. Siendo El Amo el sitio con mayor vegetación y densidad arbustiva, por no ser afectado por incendio forestal. Las diferencias arbustivas entre los sitios pueden deberse tanto a la recurrencia de fuegos en cada sitio, así como a las características de inundabilidad en época lluviosa que se dan principalmente en Laguna de Guayabal. Ya que según Vargas (2011), en un estudio realizado en el Parque Nacional Santa Rosa del ACG, se mostró que en efecto

se puede presenciar una progresión de la vegetación arbustiva en sitios que no son alterados por el fuego durante algunos años, ya que el fuego incide en la reducción de las especies arbustivas-arbóreas y provoca a su vez cambios en la estructura vegetativa, como en las sabanas del Parque Nacional Santa Rosa.

Otro parámetro diferenciante entre los sitios es el porcentaje de cubrimiento de las herbáceas, suelo desnudo y roca. Esto debido a los efectos del incendio forestal en la Laguna de Guayabal. Por tanto, la vegetación más predominante en ambos sitios son el raspaguacal y las herbáceas gramínoideas. Los cuales deben ser el foco de atención y manejo para prevenir los incendios forestales y proteger los sitios (Artavia, 2011; Lacayo et ál., 2016; Ribeiro y Walter, 2008; Vargas, 1983; y Varguéz et ál., 2012).

Propiedades fisicoquímicas de la vegetación dominante

En función de la evaluación porcentual de cobertura vegetal en ambos sitios en estudio, se determinó que la vegetación por analizar serían las herbáceas gramínoideas, el raspaguacal y el nance por su dominancia.

a. Curvas de secado:

En primera instancia se realizan las curvas de secado, cuyos parámetros se expresan en el cuadro 5.



Cuadro 5
Propiedades fisicoquímicas de la vegetación predominante

| Propiedad | El Amo | | | Laguna de Guayabal | |
|---|--------------|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| | <i>Nance</i> | <i>Raspaguacal</i> | <i>Herbáceas graminoides</i> | <i>Raspaguacal</i> | <i>Herbáceas graminoides</i> |
| <i>Humedad Relativa (%)</i> | 73 ± 1 | 59 ± 1 | 60 ± 1 | 62 ± 5 | 55 ± 1 |
| <i>X crítico (Xc)</i> | 0,41 ± 0,03 | 0,28 ± 0,01 | 0,15 ± 0,01 | 0,37 ± 0,02 | 0,19 ± 0,03 |
| <i>Tiempo crítico (min)</i> | 51 ± 2 | 25 ± 3 | 10 ± 1 | 37 ± 3 | 13 ± 2 |
| <i>Velocidad en Xc (mg min-1)</i> | 44 ± 5 | 52 ± 5 | 62 ± 2 | 51 ± 2 | 55 ± 2 |
| <i>Humedad relativa en Xc (%)</i> | 43 ± 3 | 42 ± 2 | 51 ± 3 | 39 ± 2 | 44 ± 7 |
| <i>Área fluxional específica (m² kg-1)</i> | 0,59 ± 0,01 | 0,59 ± 0,02 | 0,57 ± 0,02 | 0,57 ± 0,02 | 0,52 ± 0,01 |
| <i>K específico (s-1 m-2)</i> | 31 ± 2 | 36 ± 1 | 37 ± 1 | 38 ± 3 | 35 ± 3 |

Nota. Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en los ensayos de curvas de secado en el laboratorio de Química UCR y de ProLab-UNED.

La vegetación de estos sitios tiene la posibilidad de una alta retención de humedad, generalmente del orden de 60%. Aunque las propiedades son similares, el tiempo de secado crítico es diferente entre las muestras leñosas y las graminoides. El menor tiempo de secado crítico para las graminoides hace que se sequen más rápido superficialmente, aunque pierden menor humedad. Aun así, todas las plantas tienen una humedad remanente luego del secado crítico del orden de 40% al 50%.

Por otro lado, el área fluxional (A-flux) y el K específico (k-esp) son similares en todas las plantas, por lo que el proceso de secado posterior a la pérdida de agua inicial (fácilmente eliminable) es similar. A su vez, los parámetros

no cambian significativamente para las herbáceas graminoides entre los sitios. Así, que ante un incendio forestal las herbáceas graminoides serán el principal vegetal en contribuir al fuego por su rapidez de secado y su mayor proporción.

b. Ensayo de densidad óptica:

En el cuadro 6 se muestran los datos obtenidos en el ensayo de densidad óptica para los tres vegetales dominantes de los sitios de la parte baja del sector El Hacha.

Cuadro 6
Densidad óptica de humo

| Individuos | Tiempo (min) | Densidad óptica (kg m ⁻³) | Índice de oscurecimiento (humo) | Observaciones |
|------------------------|--------------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Raspaguacal y nance | 11 | 587,98 | 259,7 | No generaron flama, solo carbón |
| Herbáceas graminoideas | 12 | 565,09 | 200,9 | |

Nota. Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en los ensayos del LAPCI-UCR.

Para los individuos sometidos al ensayo de densidad óptica de humo, no se muestran diferencias sustanciales. El tiempo de quemado será algo menor para los elementos leñosos que para las herbáceas graminoideas, pero su baja densidad no los hará significativos en cuanto a la visualización y velocidad del incendio.

Es importante señalar que la mayoría de las veces cuando se presenta un incendio no logramos observar el fuego que se está produciendo, más bien, lo que se aprecia es la columna de humo que se está liberando. En función de esa columna de humo, se puede deducir lo que se está quemando; en este caso la diferencia de los parámetros no es significativa así que los humos no se diferenciarán significativamente para las herbáceas graminoideas o las leñosas analizadas. Adicionalmente, el tiempo de mantenimiento del humo no es elevado, lo cual sumado a su baja densidad y opacidad lo hacen de difícil detección.

c. Calorimetría (poder calorífico):

Los valores obtenidos para la prueba de calorimetría se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7
Resultados calorimétricos

| Muestra | Poder calorífico (kJ g ⁻¹) |
|------------------------|--|
| Raspaguacal | 17,2 ± 0,6 |
| Nance | 14,2 ± 0,5 |
| Herbáceas graminoideas | 13,7 ± 0,5 |

Nota. Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en los ensayos del LAPCI-UCR.

Los poderes caloríficos obtenidos para la vegetación dominante son similares, caracterizándose por un nivel energético usual en vegetación de bosque seco del orden de 15 kJ g⁻¹ (Alicchio et ál., 2016). Aunque las herbáceas graminoideas generan menor poder calorífico, serán el principal vegetal en aportarlo por presentar el mayor porcentaje de cobertura en ambos sitios.

d. Ensayo para determinar la propagación de la llama:

Se realizaron los ensayos sobre muestras secas de la vegetación leñosa dominante y las herbáceas graminoideas, para la propagación horizontal y vertical de la llama. Los resultados obtenidos se muestran en los cuadros 8 y 9.

Cuadro 8
Propagación horizontal de la llama

| Muestra | Peso (g) | Densidad (g cm-3) | Llama (min) | Velocidad (mm min-1) | Total consumido |
|-----------------------|----------|-------------------|-------------|----------------------|-----------------|
| Raspaguacal | 3,24 | 106,23 | 0,20 | 275 | (5,5 ± 0,1) cm |
| Nance | 3,20 | 104,92 | 0,40 | 87 | (3,5 ± 0,1) cm |
| Herbáceas Graminoides | 5,76 | 188,85 | 0,73 | 75 | (5,5 ± 0,1) cm |

Nota. Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en los ensayos del LAPCI-UCR.

La propagación de llama horizontal muestra que el raspaguacal posee una alta velocidad respecto al nance y las herbáceas graminoideas, pero estas últimas mantienen más tiempo la llama. La baja densidad en campo hace que el efecto del raspaguacal sea focal en la propagación del incendio, mientras que la

velocidad de propagación estará dominada por la velocidad de las herbáceas graminoideas debido a su densidad y abundancia relativa. En caso del sitio ya quemado, la propagación se verá dificultada por las áreas de suelo desnudo o rocas que representan un porcentaje importante.

Cuadro 9
Propagación vertical de la llama

| Muestra | Peso (g) | Densidad (g cm-3) | Llama (min) | Velocidad (mm min-1) | Total consumido |
|-----------------------|----------|-------------------|-------------|----------------------|-----------------|
| Raspaguacal | 3,50 | 114,63 | 0,41 | 146 | 6,00 ± 0,1 cm |
| Nance | 3,20 | 132,23 | 0,40 | 150 | 6,00 ± 0,1 cm |
| Herbáceas Graminoides | 7,34 | 303,31 | 0,38 | 145 | 5,5 ± 0,1 cm |

Nota. Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en los ensayos del LAPCI-UCR.

En la propagación vertical de la llama, como se muestra en el cuadro 9, todos los análisis resultan similares, sin diferencias significativas, por lo que no es un aporte diferenciante en el desplazamiento del fuego.

Adicionalmente, se debe de considerar que, en condiciones ambientales normales de la época seca, se presentan los vientos alisios en Guanacaste, los cuales pueden adquirir una velocidad alrededor de los 20 a 30 km h⁻¹, usualmente en dirección oeste a sureste, aumentando la propagación de la llama en la vegetación circundante (Gómez y Herrera, 1986; y Meléndez, 2016).

e. Carga de combustible:

La carga de combustible debe considerar tanto el poder calorífico como la cantidad de combustible existente en el sitio por unidad de área. Como el componente principal de la vegetación en ambos sitios son las herbáceas gramíneas, se estima, según a Martínez (2001) y Molinero y Santana (2016), que la altura media de las mismas es de unos 40 cm, con una densidad aproximada de 1750 kg m⁻³; se obtiene así una carga de combustible estimada de unos 700 kg m⁻².

Si multiplicamos esta carga por el poder calorífico obtendremos que las cargas de combustible son de unos 9590 MJ m⁻². Lo anterior debe relacionarse con el porcentaje de cobertura para cada sitio; con lo que observamos que para El Amo existe una carga de combustible de 9150 MJ m⁻² y para Laguna de Guayabal de 1650 MJ m⁻². Por tanto, la proporción de carga remanente en un sitio afectado por un incendio es del orden de menos de 20% de la carga de combustible estimada para el sitio de El Amo.

Por tanto, se concluye que las herbáceas gramíneas son las que aportarían a la carga principal de combustible en la parte baja del sector El Hacha, por su gran porcentaje de cobertura. Siendo así las cargas de combustible estimadas en áreas sin afectación del orden de 9500 MJ m⁻², dependiendo del grado de cubrimiento por herbáceas gramíneas. Con un avance de fuego no muy veloz, pero de difícil detección por su baja opacidad de humo.

Agradecimientos

Nuestra gratitud al Área de Conservación Guanacaste (ACG), al Programa de Investigación para la Promoción de Trabajo en Red (ProRed), al Programa de Laboratorio (ProLab), al Laboratorio de Ecología Urbana (LEU) y a la Cátedra de Sistemas de Información Geográfica del programa de Manejo de Recursos Naturales de la Universidad Estatal a Distancia. Así como a la Escuela de Química y al Laboratorio de Protección Contra Incendios (LAPCI) de la Universidad de Costa Rica. Gracias por el apoyo para sacar adelante el estudio.

Referencias

- Alicchio, L., Garvey, L., & Parker, W. (2016). *Assessing Fire Risk at Guanacaste Conservation Area, Costa Rica*. University of Costa Rica.
- Artavia, L. (2011). Las sabanas húmedas del sur de Costa Rica: Una caracterización fitogeográfica. *Revista Geográfica de América Central*, Número Especial EGAL, 1-15.
- ASTM Standards. (2014). E662-14 Método de ensayo de densidad óptica de humo. United States.
- ASTM Standards. (2014). D5132-11 Standard Test Method for Horizontal Burning Rate of Polymeric Materials Used in Occupant Compartments of Motor Vehicles. United States.



- ASTM Standards. (2014). D6413-08 Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test). United States.
- Comisión Nacional de Incendios Forestales. (2010). *Incendios forestales: Guía práctica para comunicadores*. Jalisco, México.
- Gómez, L., y Herrera, W. (1986). Vegetación y Clima de Costa Rica. *Apuntes para una biogeografía costarricense*, (1), 1-327.
- Jiménez, E. (2016). *Revisión taxonómica de la familia Aristolochiaceae en Costa Rica y flora vascular de las sabanas Miravalles, volcán Miravalles, Costa Rica*. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica.
- Juárez, S.; y Cano, Z. (2007). El cuarto elemento y los seres vivos: ecología del fuego. Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias* (085) pp 4-12, ISSN: 0187-6376.
- Lacayo, J., Trujillo, S., Ossa, A. (2016). La sabana: formación de gran valor productivo. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(1), 120-137.
- Martínez, E. (2001). *Manual de quemas controladas: El manejo del fuego en la prevención de incendios forestales*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Meléndez, A. (2016). *Climatología*. Universidad Estatal a Distancia, Multimedia UNED, <https://multimedia.uned.ac.cr/pem/climatologia/creditos.html>
- Molinero, D., Santana, M. (2016). *Mapeo de combustibles y su caracterización en ambientes de bosque secos tropicales en el Área de Conservación de Guanacaste (Costa Rica)*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Nájera L., y Graciano J. (2006). Estimación de la carga de combustibles en el Ejido La Campana, Municipio de Pueblo Nuevo, Durango. IV Congreso Internacional y XV Congreso Nacional de Ingeniería de Bioquímica Morelia, Michoacán. México.
- Ribeiro, J., Walter, B. (2008). As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. Pp. 150-211 (Vol. 1). En: Sano, S. M., S. P. de Almeida & J. F. Ribeiro (Eds.). *Cerrado: Ecología e Flora*. EMBRAPA - Informação Tecnológica, Brasília DF.
- Rodríguez Yáñez, J. (2019). Parameters for Use of Waste Castor-Oil Seed (*Ricinus communis*) as Biomass. *International Journal of Renewable Energy & Biofuels*, Vol. 2019 (2019), Article ID 529157, DOI: [10.5171/2019.529157](https://doi.org/10.5171/2019.529157)
- Sánchez, C., Zerecero, L. (1983). Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. México. *Nota Divulgativa n.º 9 CIFONOR – INIF*. 11p.
- Vargas, G. (2011). Estudio cartográfico de los cambios de la vegetación de sabana en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica, 1985 – 2009 *Revista Geográfica de América Central*, 2 (47) ,71-95.
- Vargas, U. (1983). Origen y flora de las sabanas de la provincia de Guanacaste (Costa Rica): Un análisis de fitogeografía Histórica. *Revista Geográfica de América Central*, 17(18), 57-67.
- Varguéz, C.; Ortiz, J.; y Tun, J. (2012). Estructura y composición florística de las sabanas de Xhabén, Campeche, México. *Bioagrocencias*, (5) 2, 4-12.
- Villers, M. (2006). Incendios forestales. *Ciencias* 81, 60-61.