

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORIA ACADEMICA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA MANEJO DE RECURSOS NATURALES

Tema

Caracterización y estimación de la carga de combustible de la vegetación dominante, en la sabana natural de la parte baja del sector el Hacha en el Parque Nacional Guanacaste, Costa Rica

Proyecto de grado sometida a la consideración del Tribunal Examinador del Programa de Bachillerato en Manejo de Recursos Naturales, como requisito parcial para optar por el grado de Bachillerato en Manejo de Recursos Naturales

María Yarenis Chavarría Valverde

Tutor de Proyecto: Máster Javier Rodríguez Yáñez

Noviembre del 2019

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto de Graduación ha sido aceptado y aprobado en su forma presente por el Tribunal Examinador del Programa de Bachillerato en Manejo de Recursos Naturales de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Estatal a Distancia, como requisito parcial para optar por el grado de Bachillerato en Manejo de Recursos Naturales.

Guisella Vargas Vargas, M.Sc.
Directora de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales.

Héctor Brenes Soto, M.Sc.
Encargado del Programa de Manejo de los Recursos Naturales.

Javier Rodríguez Yáñez, M.Sc.
Tutor (a) de Proyecto

Dedicatoria

A Dios por tantas bendiciones y oportunidades que me da día con día.

A mi familia por su incondicional apoyo y amor.

Y a mi casa de estudio, la Universidad Estatal a Distancia, por tantas oportunidades y apoyo para lograr este grado académico, así como todo el crecimiento personal y profesional que he obtenido en esta institución.

Agradecimientos

Agradezco a Javier Rodríguez Yáñez, por su guía y acompañamiento en todo el proceso como tutor, y a Gabriela Jones Román también por su ayuda para realizar el presente Proyecto en el Área de Conservación Guanacaste, y así dejar un granito de arena en investigación a tan importante Zona Protegida.

Al Área de Conservación Guanacaste (ACG), por permitir a estudiantes realizar nuestros trabajos finales de graduación dentro de la Zona Protegida.

Don Julio Mata, Don José Rodríguez y Javier Jiménez, por su disponibilidad en colaborar en los ensayos de las curvas de secado y de poder calorífico en la Universidad de Costa Rica. De igual forma, agradezco Al Programa de Laboratorio (PROLAB) de la UNED, por todo el apoyo brindado en el trabajo de laboratorio, para poder finiquitar con éxito mi proyecto.

A Ana Ruth Chinchilla y a Carolina Esquivel Solís de ProRed en Vicerrectoría de Investigación de la UNED, por toda la ayuda y acompañamiento logístico para poder llevar a cabo el Proyecto. Y el permitirme tener una formación como Joven investigadora desde ProRed.

Al Profesor Benjamín Álvarez Garay, por su apoyo en el uso del Sistema de Información Geográfica.

A Tomás Alfaro Fallas por su apoyo y acompañamiento para poder realizar el trabajo de campo y parte del trabajo de laboratorio con éxito. Y a Daniela Vargas Sanabria por su ayuda en cuanto a material literario para complementar en mi Proyecto.

A mi compañero de carrera Roy Vallejos Contreras por su ayuda y tiempo en las giras, para poder sacar adelante el trabajo de campo, así como su apoyo como compañero a lo largo de la carrera, al igual que muchos otros compañeros (as).

Resumen

En Guanacaste se presentan frecuentes incendios forestales durante la época seca, siendo frecuentemente afectada el Área de Conservación Guanacaste (ACG) en sectores como el Murciélago, Pocosol y El Hacha. Los incendios aquí presentados pueden darse por causas naturales, como las rayerías, pero son principalmente causados por actividades antropogénicas, producto de la ganadería y agricultura. Al ser el sector El Hacha uno de los sitios del ACG más perjudicados por los incendios forestales y a su vez presentar como ecosistema las sabanas naturales (ecosistemas dependientes del fuego y poco estudiados en Costa Rica), es que se convierte de importancia un estudio a nivel de carga de combustible, permitiendo brindar datos para facilitar la determinación de la intensidad de los incendios forestales y establecer áreas prioritarias de atención. Es así, que para la presente investigación se evalúa la cobertura vegetal y propiedades fisicoquímicas de la vegetación dominante en la sabana natural de la parte baja del sector El Hacha, para la estimación de la carga de combustible en dicho sitio. Es entonces que para obtener los datos de densidad de cobertura vegetal se realizan seis parcelas en cada sitio de estudio del sector El Hacha (Laguna de Guayabal y El Amo), dichas parcelas son de 10 X 50 metros, cuantificándose las arbustivas más dominantes de los sitios, tomando datos de altura y DAP en cm; dentro de las mismas parcelas se establecieron subparcelas de 1 X 1 metros, divididas cada 10cm, para el cálculo en porcentaje de la cobertura en cuanto a herbáceas gramíneas, no gramíneas, suelo desnudo y roca. De esta vegetación dominante se recolectaron muestras de hojas y tallos de raspaguacal, nance, y zacate, para la determinación de propiedades fisicoquímicas (poder calorífico, curvas de secado, densidad óptica de humo y propagación de la llama horizontal y vertical que contienen estos vegetales). El estudio de las propiedades fisicoquímicas se realizó en laboratorios de química y física, para finalmente determinar la carga de combustible que presentan ambos sitios tomando en consideración el poder calorífico y carga de fuego del zacate. Concluyendo que los vegetales más predominantes son el nance, raspaguacal y zacate, donde el raspaguacal presenta 131 individuos, en su mayoría menores a los 100 cm de altura, considerando ambos sitios del sector El Hacha, y el zacate llega a alcanzar un cubrimiento de cobertura del 95,4 % en el sitio de El Amo, mientras que en la Laguna de Guayabal el mayor cubrimiento lo posee el suelo desnudo con un 79,0 % debido a que el sitio

presento un incendio forestal antes de tomarse los datos en campo. 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, mientras que el vegetal con mayor capacidad de perder humedad a menor tiempo crítico es el zacate, sin embargo, es el vegetal que dura más tiempo en propagar la llama tanto a nivel horizontal y vertical y a menor velocidad, seguido por el raspaguacal. Es así como la carga de combustible de ambos sitios se presenta con el zacate en 9149 kg/m^2 El Amo y 1650 kg/m^2 para la Laguna de Guayabal.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Antecedentes	11
1.2 Planteamiento del problema.....	14
1.3 Justificación	17
1.4 Objetivo general.....	18
1.5 Objetivos específicos.....	18
2. MARCO TEORICO	19
2.1 Manejo tradicional y futuro del fuego en el bosque tropical seco.....	23
2.3 Un ecosistema dentro del bosque seco, sabana natural.....	26
2.4 Vegetación predominante de las sabanas naturales	28
2.5 Carga de combustible en los ecosistemas.....	29
2.5.1 Cobertura vegetal:	31
2.5.2 Densidad de la vegetación:	31
2.5.3 Propiedades fisicoquímicas de vegetales:.....	32
3. MARCO METODOLOGICO.....	33
3.1 Enfoque, tipo y diseño de investigación.....	33
3.2 Contexto de la investigación.....	35
3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	37
3.3.1 Variables o categorías de análisis	37
3.3.2 Técnicas e instrumentos.....	39
3.3.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	48
4. RESULTADOS	54
4.1 Cobertura vegetal en el sitio de estudio.....	54
4.1.1 Densidad de cobertura vegetal de las leñosas y herbáceas gramíneas, no gramíneas y suelo desnudo en el sitio de El Amo.	54
4.1.2 Densidad de cobertura vegetal de las leñosas y las herbáceas gramíneas, no gramíneas y suelo desnudo en el sitio de la Laguna de Guayabal.....	56
4.2 Propiedades fisicoquímicas de la vegetación dominante de la sabana natural..	58
4.3 Carga de combustible presente en la sabana natural de la parte baja .. del sector El Hacha.....	61
5. DISCUSIÓN	64
5.1 Densidad de cobertura vegetal en el sitio de estudio	64
5.2 Propiedades fisicoquímicas de la vegetación dominante de la sabana natural en los sitios de El Amo y la Laguna de Guayabal.....	66
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
6.1 Conclusiones	70
6.2 Recomendaciones	71
BIBLIOGRAFIA.....	72
ANEXOS.....	79

Índice de cuadros

Cuadro 1. Distribución de altura de las especies arbustivas en el sitio de El Amo	54
Cuadro 2. Densidad de las herbáceas gramíneas, no gramíneas, suelo desnudo y roca en el sitio de El Amo expresado como porcentaje de cobertura	55
Cuadro 3. Distribución de altura de las especies arbustivas de la Laguna de Guayabal	56
Cuadro 4. Densidad de las herbáceas gramíneas y no gramíneas, suelo desnudo y roca en el sitio de Laguna de Guayabal, expresadas como porcentaje de cobertura.....	57
Cuadro 5. Propiedades físico-químicas de la vegetación predominante de la sabana del sitio El Amo	58
Cuadro 6. Propiedades físico-químicas de la vegetación predominante de la sabana del sitio de la Laguna de Guayabal.	60
Cuadro 7. Densidad óptica de humo	61
Cuadro 8. Resultados calorimétricos	61
Cuadro 9. Resultados obtenidos según el tipo de muestra, para la propagación horizontal de la muestra	62
Cuadro 10. Resultados obtenidos según el tipo de muestra, para la propagación vertical de la muestra.....	62
Cuadro 11. Valores de secado de los individuos más predominantes del sitio el Amo.....	67
Cuadro 12. Valores de secado de los de los individuos más predominantes del sitio de la Laguna de Guayabal	67

Índice de figuras

Figura 1. Ecorregiones prioritarias y regímenes del fuego dominantes. Fuente: The Conservancy Nature (2004).....	20
Figura 2. Sitio de estudio, sector El Hacha del Área de Conservación Guanacaste.....	36
Figura 3. Sitios de Estudio del Área de Conservación Guanacaste (El Amo y Laguna de Guayabal)	36
Figura 4. Parcelas del sitio de estudio El Amo, Área de Conservación Guanacaste... ..	40
Figura 5. Parcelas del sitio de estudio Laguna de Guayabal, Área de Conservación Guanacaste	40
Figura 6. Subparcelas dentro de las parcelas en estudio	42
Figura 7. Distribución de las arbustivas más dominantes en el sitio de El Amo	64
Figura 8. Distribución de las arbustivas dominantes en el sitio de la Laguna de Guayabal.....	65

Índice de Anexos

Índice de Anexo, cuadros

Anexo, cuadro 1. Alturas de las arbustivas del sitio de la Laguna de Guayabal y El Amo, tomadas en el campo.	83
Anexo, cuadro 2. Lista de datos DAP vs Altura del raspaguacal en el sitio del Amo.....	85
Anexo, cuadro 3. Lista de datos de cobertura vegetal de herbáceas gramíneas, no gramíneas, suelo desnudo y roca, del sitio de El Amo.	85
Anexo, cuadro 4. Lista de datos DAP vs Altura del raspaguacal en el sitio de la Laguna de Guayabal.	87
Anexo, cuadro 5. Lista de datos de cobertura vegetal de herbáceas gramíneas, no gramíneas, suelo desnudo y roca, del sitio de la Laguna de Guayabal.	88
Anexo, cuadro 6. Clasificación del humo liberado en muestras de Raspaguacal y Nance	89
Anexo, cuadro 7. Clasificación del humo liberado en muestra de Zacate	90

Anexo, cuadro 8. Información de las muestras.....	90
Anexo, cuadro 9. Información de las muestras.....	90

Índice de Anexos, figuras

Anexo, figura 1. Instrumentos utilizados en el trabajo de campo y trabajo de laboratorio.....	79
Anexo, figura 2. Instrumentos utilizados en el laboratorio del LAPCI-UCR	80
Anexo, figura 3. Sitios de estudio de la parte baja del sector El Hacha del Parque Nacional Guanacaste	81
Anexo, figura 4. Densidad óptica específica en función del tiempo de las muestras.....	¡Error! Marcador no definido.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las sabanas son ecosistemas dinámicos, las cuales varían constantemente modificando su fisonomía, composición florística y sus procesos ecológicos. Este dinamismo se inicia con alteraciones que pueden ser naturales o antropogénicas. Entre los disturbios naturales se ubican los grandes periodos de sequía o la erosión provocada por fuertes vientos; sin embargo, los disturbios culturales provocados por el ser humano son los que más dominan, principalmente por medio de la acción del fuego (Vargas, 2009).

En el caso de las sabanas de Costa Rica, muchos autores las clasifican como naturales, mientras que otros las clasifican de origen antrópico. En este último grupo Vargas (2009), menciona que las sabanas del país son formadas por actividades antrópicas, las cuales existían como lugares cenagosos que posteriormente fueron transformados en pastizales principalmente de la especie exótica *Hyparrhenia rufa* (Jaragua). Sin embargo, Gómez y Herrera (1986); citado por Jiménez (2016), mencionan que las sabanas de Costa Rica son naturales, ya que se encuentran dominadas por especies herbáceas gramínoideas nativas y que contienen un estrato discontinuo de árboles bajos y arbustos en diferentes densidades, que también dominan en otras sabanas neotropicales. Asimismo, mencionan, que su origen se debe a un conjunto de factores edáficos, geológicos y climáticos que provocan una dominancia del estrato herbáceo (p. 74).

Según Cochrane (2009) las sabanas del neotrópico como lo son las sabanas venezolanas presentan dentro de su vegetación predominante la *Curatella americana* (Raspaguacal) y el *Byrsonima crassifolia* (Nance), así como especies de las familias Poaceae y Ciperaceae. Asimismo, según lo menciona Jiménez (2016), las sabanas de Miravalles tienen cierta similitud con las sabanas venezolanas, ya que comparten el 70% de las especies, siendo la especie *Byrsonima crassifolia* (Nance) la arbustiva más abundante en las sabanas del Miravalles; y una de las tres especies de árboles más abundantes de las sabanas de Centroamérica y el norte de Sudamérica. En el caso de las sabanas de la parte bajan de El Hacha del Parque Nacional Guanacaste, se caracterizan por

presentar una similitud con las sabanas del Miravalles en la composición florística las mencionadas especies leñosas (Lenthall, Bridgewater y Furley, 1999, citado por Jiménez, 2016).

Geológicamente hablando, la región comprendida entre las ciudades de Cañas y Liberia, pertenecen a las formaciones geológicas de Bagaces-Liberia. Las cuales están constituidas por tobas volcánicas de tipo ignimbrítico, dando origen a suelos poco profundos muy erosionados, con un pH ligeramente ácido y con una mala absorción del agua, siendo poco fértiles. Es así como estas condiciones edafológicas favorecen la instalación de una vegetación de árboles pequeños y arbustos, muy ramificados hasta el suelo, y sin estratificación neta y poco penetrable. Por tanto, dicho matorral constituye a una asociación edáfica propia de los suelos pobres, duros, y arenosos. La flora de sabana al encontrar condiciones favorables en la llanura, tales como: eliminación del bosque, erosión del suelo, existencia de fuegos, gran aridez del suelo y una larga estación seca se disemina con gran capacidad (Vargas, 1983). Siendo, además el fuego un factor que brinda estabilidad a las sabanas al prevenir la formación de bosque (Kellman, 1984).

Al ser el fuego un factor importante en los ecosistemas de Guanacaste, se considera de importancia estudiar la carga de combustible, siendo esta una de las variables más importantes para el mantenimiento del fuego. Considerando también que los combustibles son el único elemento que el ser humano puede manipular, por lo que es necesario conocer su carga, así como su distribución. La falta de información sobre la cantidad de biomasa forestal ocasiona que se tomen malas decisiones para la ejecución de estrategias de manejo de incendios forestales. Así mismo, los datos sobre disponibilidad y distribución de los combustibles permiten apoyar propuestas referentes a su control y combate del fuego, así como ser una referencia esencial para la implementación de modelos que simulen el comportamiento del fuego (Nájera y Graciano, 2006; Jones y Álvarez, 2018).

En el caso de Guanacaste, según el estudio realizado por (Molinero y Santana, 2016) en el Parque Nacional Santa Rosa y Parque Nacional Guanacaste, los sectores que poseen mayor riesgo de incendios forestales por el tipo de

combustible que poseen, son el sector Murciélago, sector Pocosol, sector Santa Elena, sector Santa Rosa y sector El Hacha. Siendo tanto el pasto como el matorral, los que poseen mayor índice de peligro, debido a su inflamabilidad, disponibilidad y altura de la llama, entre un rango de medio a alto. No obstante, dichos pastos poseen una carga de combustible baja dentro del rango de 3 a 10 Tm/ha.

Cabe acotar entonces que el estudio de la cantidad de energía, la cantidad de humo estimado y la propagación de la llama que generan las especies forestales más abundantes en un sitio es importante, ya que son factores asociados a la carga de combustible que posee un sitio en específico. Según la investigación realizada por (Alicchio, Garvey y Parker, 2016) en el Parque Nacional Santa Rosa, las especies más predominantes *Bulbostylis paradoxa*, *Hyparrhenia rufa* (Jaragua), *Quercus oleoides* (Roble encino), *Curatella americana* (Raspaguacal), *Byrsonima crassifolia* (Nance), mostraron a través del análisis de los datos de cantidad de energía, la hierba de Jaragua generaría un mayor riesgo de incendio forestal que el árbol de *Quercus oleoides*. De igual manera, lo mostraron con la propagación de la llama donde el pasto Jaragua genera mayor propagación de llama en menor tiempo 0,20 m/s a 20 s, sin dejar masa final; a diferencia del *Quercus spp*, que propagó llama solo de 0,05 m/s a 0,09 m/s en un tiempo entre 62 y 204 s.

1.2 Planteamiento del problema

A través de la historia de la humanidad el fuego ha sido un elemento de gran importancia, su domesticación por el ser humano primitivo constituyó un gran logro y marcó el inicio de una nueva era para la evolución de las culturas. El fuego como recurso ha sido utilizado como herramienta de trabajo principalmente para preparar el terreno agrícola y forestal, sin embargo, su mal uso ha afectado el régimen normal de los incendios forestales en el planeta (Juaréz y Cano, 2006).

El fuego, tiene influencia en los procesos que ocurren en el ecosistema, su interacción ha permitido que se desarrollen biomas como las sabanas, bosques boreales de coníferas, praderas y bosques mediterráneos. Su recurrencia propicia un ecosistema distinto al esperado según la región geográfica presentando especies con mecanismos de resistencia al fuego (Bond y Keeley, 2005).

Un incendio forestal ocurre cuando se da en zonas naturales con vegetación abundante. Para que se produzca deben combinarse calor, combustible (materia viva y muerta, ramas, hojarasca, troncos, pastos, dosel de árboles) y oxígeno, estos tres elementos conforman el llamado triángulo del fuego. La combustión libera dióxido de carbono, vapor de agua y energía, por lo que esta reacción es inversa a la fotosíntesis (Juaréz y Cano, 2006).

Actualmente el fuego constituye una de las causas significativas que contribuyen con la deforestación y la degradación de los ecosistemas. Su origen puede ser natural y antropogénico, siendo el 90% de los incendios ocurridos a nivel mundial, provocados por el ser humano a partir de quemas tanto para actividades ganaderas, agrícolas y de desechos sólidos no controladas, así como por incendios intencionales (OFDA, 2010).

Los efectos desfavorables del fuego sobre los ecosistemas forestales son diversos, y su importancia es directamente proporcional a la frecuencia con que estos incidentes se den en la misma área geográfica. Si los incendios aparecen antes de que el ecosistema se recupere de modo natural, se produce una degradación progresiva del mismo (FUEGORED, 2000).

En este sentido es importante generar información de las diversas influencias y efectos de los fuegos en los ecosistemas, sobre todo en las sabanas naturales

(ecosistemas poco estudiados a nivel general), ya que en ciertas circunstancias y bajo criterios científicos se puede emplear técnicas para el manejo adecuado para ciertos ecosistemas y a fin de disminuir la vulnerabilidad e intensidad de los fuegos en estas áreas.

Es así como el conocimiento del tipo de incendio forestal es también necesario para aplicar las técnicas de manejo y control adecuadas. Según la Comisión Nacional de Incendios Forestales (2010), los incendios forestales pueden ser, de copas o aéreos, subterráneos y superficiales. Los primeros se caracterizan por ser los más destructivos, peligrosos y difíciles, debido a que el fuego consume toda la vegetación; estos incendios también comienzan de manera superficial, sin embargo, las llamas avanzan primero sobre el nivel del suelo y se propagan por continuidad vertical, o sea, va ascendiendo por la vegetación dispuesta hacia arriba.

Los subterráneos se caracterizan por tener un comienzo superficial, quemando la materia orgánica acumulada y las raíces, e incluso puede alcanzar afloramientos rocosos. Son incendios que no producen llamas ni humo. En el caso de los incendios forestales superficiales, estos son incendios donde el fuego se propaga de manera horizontal sobre la superficie, alcanzando metro y medio de altura, estos incendios llegan a afectar combustibles vivos y muertos como pastizales, hojas, ramas, ramillas, arbustos o pequeños árboles de regeneración natural o plantación, troncos, humus, entre otros (Comisión Nacional de Incendios Forestales, 2010). Este tipo de incendio forestal, son los que padece un ecosistema de sabana natural, por sus características en cuanto a su vegetación (Villers, 2005).

En Costa Rica, los incendios forestales de sabana se presentan durante la estación seca a lo largo de la vertiente Pacífica, Huetar Norte y Cordillera Central. Lo cual puede presentar algunos cambios en su dinámica de acuerdo con el comportamiento climático (Moraga, 2012; Vega, 2015). La provincia de Guanacaste ha sido también una de las regiones en las cuales las áreas protegidas han incrementado su extensión en las últimas décadas. A lo que debe agregarse los pastizales que han sido abandonados debido a la crisis en el mercado de la carne, así como aquellos charrales en parcelas con baja actividad agrícola, situadas en asentamientos campesinos del INDER. Estos cambios, asociados con las condiciones climáticas extremas y la potencialidad de las

acciones humanas antes mencionadas, generan una disponibilidad creciente de biomasa, con un elevado riesgo de incendios (Picado y Cruz, 2014).

Sin embargo, la mayor parte de estos incendios se concentra en el Trópico Seco. Se dice, que entre 1997 y 2017 se afectaron por los incendios forestales 26 584, 85 hectáreas en el Área de Conservación Guanacaste. Siendo los sitios de Pocosal, Murciélagos y El Hacha los de mayor presencia de incendios, afectándose 5 368, 4 871 y 4 401 hectáreas respectivamente (Jones y Álvarez, 2018).

Aunado a lo anterior se tiene que a nivel nacional existen pocos estudios de la ecología de las sabanas y del fuego por lo que es urgente generar conocimiento sobre diversos temas asociados a la interacción de estos ecosistemas y el fuego. Como ejemplo, un mayor conocimiento sobre la carga de combustible en áreas naturales puede ser de gran utilidad en el manejo de un área protegida. Por tanto, un estudio de este tipo en la parte baja de la sabana natural del sector El Hacha del Parque Nacional Guanacaste (actualmente un estudio inexistente), podría generar al Área de Conservación Guanacaste datos que permitirían determinar la intensidad potencial del incendio y establecer áreas prioritarias de atención. Esto, debido a la determinación de la intensidad que puede tener un incendio a base del estudio de las propiedades fisicoquímicas de la vegetación más predominante (Sánchez y Zerecero, 1983). Así mismo, los datos sobre disponibilidad y distribución de los combustibles permiten apoyar propuestas referentes a su control y combate, además de ser esenciales para la implementación de modelos que simulen el comportamiento del fuego, con base en los cuales se formulen planes y se haga la asignación adecuada de los recursos financieros para tales propósitos (Nájera y Graciano, 2006).

Con base a lo anteriormente indicado es que se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo se caracteriza la carga de combustible que posee la sabana natural vulnerable a incendios forestales, de la parte baja del sector el Hacha?

1.3 Justificación

Las sabanas se caracterizan por tener incendios forestales frecuentes, superficiales y de baja intensidad, por el tipo de vegetación graminoide que predomina (Jardel, Alvarado, Morfín, Castillo y Flores, 2009). Siendo el fuego un actor que agiliza el crecimiento de las herbáceas, pero frena el crecimiento de las arbustivas o árboles; también actúa acelerando la mineralización del suelo y el crecimiento de las plantas que se adaptan a estas condiciones (Alberto, 2009).

Es así que, a partir del estudio de la afectación de los incendios forestales en las sabanas, es que se podría tener un resultado positivo en cuanto a beneficios ambientales, sociales y económicos de las poblaciones, instituciones, organizaciones y empresas que están vinculadas de una u otra manera a las áreas de conservación propensas a incendios. Asimismo, la investigación puede promover acciones que mejoren la resiliencia de estos ecosistemas y su manejo (Vega, 2015).

Por tanto, con el propósito de mejorar la atención de los incendios forestales y reducir sus impactos, es necesario brindar conocimiento sobre el comportamiento del fuego. Considerando información que permita determinar las propiedades fisicoquímicas de los combustibles forestales y por ende la carga de combustible que presenta un área determinada (Vega, 2015).

De igual manera lo mencionan Nájera y Hernández (2008), el conocimiento de la densidad de los combustibles forestales permite evaluar los materiales combustibles que se generan y depositan en el piso forestal, permitiendo planear estrategias para que los recursos destinados para las labores de prevención y control puedan ser dirigidos a las áreas donde se espera un mayor grado de peligro.

Entonces, por medio de esta investigación, se pretende caracterizar y estimar la carga de combustible que presenta el sector en estudio, brindando conocimiento o información actual, y hoy día inexistente, sobre las características que posee la vegetación predominante en la sabana natural de la parte baja del sector El Hacha (Laguna de Guayabal y El Amo). Todo esto con la finalidad de generar conocimiento biológico y fisicoquímico de la vegetación predominante con el fin de aportar en la dinámica o comportamiento de la vegetación de dicho ecosistema.

1.4 Objetivo general

- Evaluar la cobertura vegetal y propiedades fisicoquímicas de la vegetación dominante en la sabana natural de la parte baja del sector El Hacha, para la estimación de la carga de combustible.

1.5 Objetivos específicos

- Caracterizar la cobertura vegetal dominante en la sabana natural.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la vegetación dominante de la sabana natural.
- Estimar la carga de combustible presente en la sabana natural de la parte baja del sector El Hacha.

2. MARCO TEORICO

Los incendios forman parte del Sistema Tierra desde el Silúrico hace 450 millones de años, donde poseen una estrecha relación con las plantas, siendo estas el combustible (elemento clave para la existencia del fuego, aparte del oxígeno y calor). Asimismo, estos pueden ser originados por causas naturales como tormentas eléctricas (rayería) (Pausas, 2010).

El fuego también ha tenido un control natural mediante la presencia de granizadas, heladas, barreras naturales como ríos, lagunas, mares y zonas desprovistas de vegetación, así como de cambios en la dirección y velocidad del viento (Nájera, 2013). De igual manera se ha visto alterado el régimen de incendios por las diferencias en temperatura y precipitación, así como por la abundancia de herbívoros (Pausas, 2010).

Sin embargo, también el fuego es generado por el ser humano, según Nájera (2013), al aparecer el hombre en la era Cenozoica, periodo Cuaternario, se da el descubrimiento del fuego, su generación y su uso en múltiples actividades. En la actualidad más del 95% de los incendios forestales en la tierra son antropogénicos (p.3).

Es por eso, que el estudio de la ecología del fuego toma un papel importante en la comprensión del factor fuego en los distintos componentes de un ecosistema en particular, así como en las interrelaciones que existen entre los seres vivos, el medio físico y este componente. Tomando en cuenta que, la combinación de la biomasa de la cubierta vegetal y de una atmósfera rica en oxígeno, y de fuentes de ignición como rayos (y desde miles de años igniciones antropogénicas), hacen que prácticamente cualquier lugar del planeta con vegetación, pueda incendiarse cuando existen condiciones muy secas. La variación en las condiciones climáticas, la forma del terreno y la vegetación dan lugar a diferentes regímenes de fuego en los cuales los incendios se presentan con diferente frecuencia, estacionalidad, intensidad, severidad, tamaño y patrón espacial (Morfin, Jardel, Alvarado, y Fuentes, 2012).

El fuego como disturbio natural en nuestro planeta siempre se ha manifestado y ha tenido una influencia en la sucesión ecológica, deteniéndola, ciclándola, retrocediéndola y/o promoviéndola. Actualmente, se considera que los regímenes alterado del fuego (es decir, demasiado fuego, o muy poco fuego),

son una amenaza para la conservación de la biodiversidad. Si no se les presta atención y se les integra a otros esfuerzos, los incendios o la falta de fuego tienen el potencial de deshacer el progreso logrado en conservación y desarrollo sostenible (The Nature Conservancy, 2004; citado por Nájera, 2013).

En octubre de 2004 The Nature Conservancy (TNC), publicó un informe sobre el papel ecológico del fuego en los diferentes ecosistemas del mundo, donde se realiza una evaluación preliminar a una escala amplia de la medida en que el fuego es beneficioso o dañino, desde el punto de vista ecológico. Tomando en cuenta las ecorregiones evaluadas (Figura 1), clasificaron que el 46 % del área mundial de los principales tipos de hábitat como dependientes del fuego, el 36 % como sensible al fuego y el 18 % como independientes del fuego (The Nature Conservancy NC, 2004).

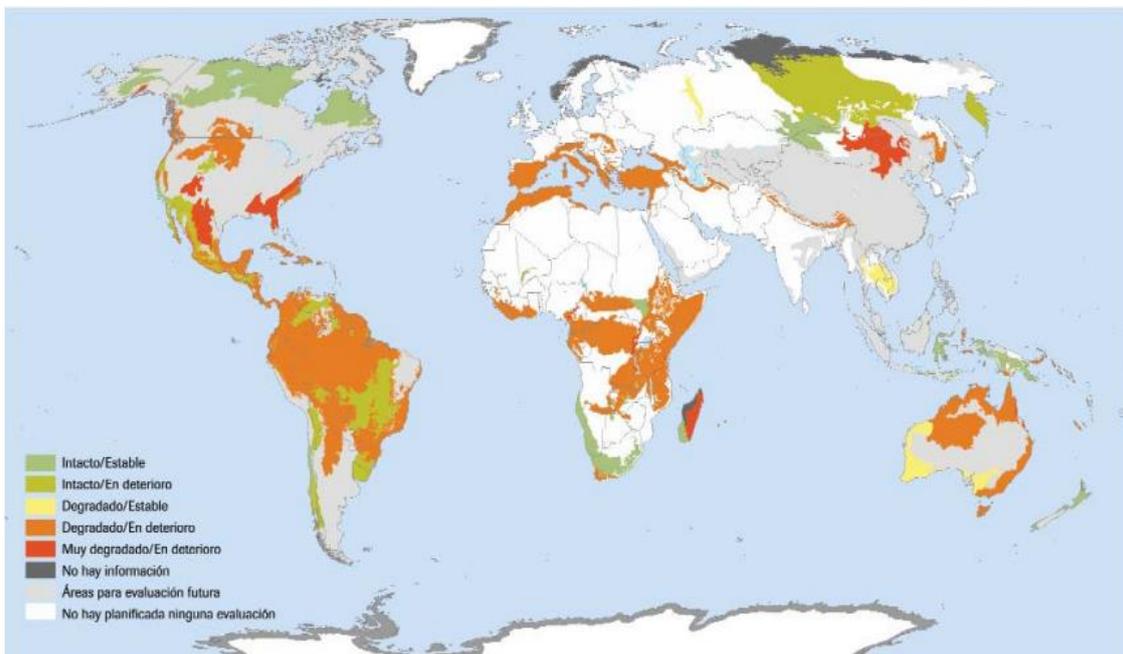


Figura 1. Ecorregiones prioritarias y regímenes del fuego dominantes. Fuente: The Conservancy Nature (2004).

Los ecosistemas dependientes del fuego son aquellos donde el fuego es esencial y las especies han desarrollado adaptaciones, como la corteza gruesa, conos serófitos, crecimiento inicial cespitoso, entre otras, para responder positivamente al fuego y para facilitar su propagación (Myers, 2006).

Estos ecosistemas también son llamados adaptados o mantenidos por el fuego. Ya que el fuego es un proceso importante para sostener la vida de las plantas y

animales nativos de los distintos ecosistemas dependientes al fuego. Además de que en los lugares en los cuales los ecosistemas evolucionaron con el fuego, los incendios ayudan a mantener una estructura y composición específica del ecosistema (Myers, 2006; The Conservancy Nature, 2004).

Asimismo, no todos los ecosistemas dependientes del fuego se queman de la misma manera. Por ejemplo, muchos bosques, pastizales, sabanas y ecosistemas de humedales se caracterizan por tener incendios superficiales frecuentes y de baja intensidad, los cuales mantienen una estructura abierta con numerosos pastos y malezas. No obstante, lo que caracteriza a todos estos ecosistemas es la resistencia y la capacidad de recuperación de sus plantas y animales después de estar expuestos a incendios que ocurren dentro del rango de variación característico del tipo de régimen de fuego de ese ecosistema (Myers, 2006; The Conservancy Nature, 2004)

Aunado a lo anterior, es importante aclarar que la exclusión del fuego resulta, a menudo, en cambios generales al ecosistema, los cuales son ecológica y socialmente indeseables. Por ejemplo, en Estados Unidos, la exclusión del fuego transformó los pastizales nativos, necesarios tanto para el forraje de la vida silvestre como para el apacentamiento del ganado, en bosques de pino de dosel cerrado con pocos pastos, los cuales ahora causan incendios forestales muy intensos y devastadores (The Conservancy Nature, 2004).

Los ecosistemas sensibles al fuego son los que no se han desarrollado con el fuego como un proceso importante y recurrente. La mayor parte de las plantas carecen de adaptaciones que les permita responder de manera positiva al fuego o recuperarse después de un incendio, provocando una mortalidad alta, incluso cuando la intensidad del fuego es baja (Myers, 2006; The Conservancy Nature, 2004).

La estructura y la composición de la vegetación tiende a inhibir la ignición y la propagación del fuego. Además, los ecosistemas sensibles al fuego son frescos y húmedos. Como ejemplo, podemos incluir una amplia variedad de bosque y selvas latifoliadas tropicales y subtropicales, así como bosques latifoliados y de coníferas (Myers, 2006).

Sin embargo, a medida que los incendios se vuelven frecuentes y extendidos (principalmente por origen antropogénico), el ecosistema se desplaza hacia una

vegetación más propensa al fuego donde puede influenciar la estructura del ecosistema y la abundancia relativa de las especies a largo plazo. Por ejemplo, los bosques tropicales se convierten en sabanas de pastos inducidos y los pastizales semiáridos se ven invadidos por pastos no nativos que crean un combustible continuo (Myers, 2006; The Conservancy Nature, 2004).

Ecosistemas independientes del fuego, son aquellos en los cuales el fuego juega un papel muy pequeño o nulo. Los ecosistemas son muy fríos, húmedos o secos para quemarse. El fuego se convierte en una amenaza solamente si hay cambios significativos provocados por actividades de uso del fuego. Como ejemplos tenemos a los desiertos, tundras, bosque lluvioso y de niebla en ambientes no estacionales (Myers, 2006).

Dentro de las ecorregiones también se encuentra los ecosistemas influidos por el fuego. Esta es una categoría que incluye tipos de vegetación que se encuentran frecuentemente en las zonas de transición entre los ecosistemas dependientes del fuego y los ecosistemas sensibles al fuego o independientes del fuego. Pueden incluir tipos de vegetación más amplios, en los cuales la respuesta de las especies al fuego todavía no ha sido documentadas y el papel del fuego en el mantenimiento de la biodiversidad no se conoce (Myers, 2006; citado por Nájera, 2013).

Se considera que estos ecosistemas necesitan el fuego y éste genera una diversidad de hábitat y mosaicos en la vegetación que favorece a muchas especies. En estos ecosistemas las especies tienen adaptaciones al factor fuego, sin él los ecosistemas cambian y las especies adaptadas se pierden, es decir, necesitan un régimen de fuego apropiado. Las plantas han desarrollado ciertas adaptaciones para soportar y aprovechar la presencia del fuego, asimismo, dan respuestas florecientes causadas por la presencia del fuego, es decir, que solo quemándose producen flores o como respuesta al fuego florecen (Nájera, 2013).

El Neotrópico, tiene un mosaico de ecosistemas que los hacen vulnerables a los incendios forestales y, que a su vez son generados en su mayoría por actividades antrópicas. Asimismo, lo menciona Cochrane (2009); citado por Vargas y Quesada (2018, p.2), los incendios forestales en los trópicos están principalmente asociados a actividades humanas y, comparados con otras

regiones del mundo, cada año se experimentan en mayor número. Por tanto, son un factor determinante que impulsan cambios en la cobertura vegetal en ecosistemas del bosque seco (Vargas y Quesada, 2018).

Además, los bosques secos tropicales y hábitats asociados son ecosistemas altamente susceptibles a los incendios forestales debido a la existencia de una prolongada época seca con hasta 8 meses (Calvo, Sánchez y Portillo, 2013). Los bosques secos representan aproximadamente, el 42% de los bosques tropicales (Vargas y Campos, 2018). Teniendo como una de sus influencias ante incendios forestales la acumulación de combustible por medio de la hojarasca, herbáceas, troncos y ramas que, bajo condiciones de estrés hídrico, altas temperaturas, fuertes vientos y un medio de calor, suelen favorecer los incendios (Jones y Álvarez, 2018).

2.1 Manejo tradicional y futuro del fuego en el bosque tropical seco

Es importante mencionar que la definición de incendios forestales, según (Comisión Nacional sobre Incendios Forestales [CONIFOR], 2014), es el fuego que se propaga sin control en un ecosistema, producido por la acción del ser humano o causado por la naturaleza, ocasionando serios daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales (p. 68).

La importancia de implementar un manejo del fuego es entonces que posea metas; las cuales pueden definir el resultado específico del manejo de incendios de manera integral a fin de proteger a las personas y la propiedad, logrando la condición futura deseada, mantener hábitats específicos y restaurar, mejorar o mantener los servicios y productos de los ecosistemas. Estas metas de manejo del fuego también deben alinearse con las metas generales de conservación y con las necesidades más amplias de la comunidad. Esto supone la restauración, el diseño y el mantenimiento de regímenes de fuego adecuados para elementos de conservación específicos, tales como especies clave, tipos de vegetación, modelos de paisaje o productos sostenibles. Las estrategias pueden incluir la remoción, la mejora o la modificación de las fuentes de amenazas relacionadas con el fuego, tales como, la falta de control de los incendios agrícolas y el manejo de incendios no planificados. Esto con el fin de limitar sus efectos perjudiciales y aprovechar sus beneficios, realizando así la aplicación del fuego en la forma de

quemadas para imitar el papel adecuado del fuego de una manera segura y controlada (Myers, 2006).

Tradicionalmente, el fuego ha sido una herramienta para aumentar la producción y facilitar el uso del suelo para la agricultura, el manejo de los recursos forestales y de la fauna silvestre. Desde el punto de vista del manejo del fuego, generalmente no presenta diferencia en el uso del fuego en cultivos o para fomentar el desarrollo de fuentes naturales de alimentación para el consumo de la población o del ganado. Lo mismo sucede con el uso del fuego para mantener paisajes tradicionales o culturales. Ya que el fuego es también la herramienta elegida para la limpieza y transformación del terreno (Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007).

Sin embargo, las malas prácticas en el manejo del fuego posiblemente han generado que ciertos componentes o procesos que no existían en el pasado controlen ahora el régimen del fuego, por ejemplo, pastos invasores inflamables o la proliferación de bordes del bosque. Las condiciones del combustible pueden haber sido alteradas hasta tal punto que la reintroducción del fuego puede tener consecuencias indeseables, o que la supresión o prevención de incendios sea casi imposible (Myers, 2006).

Cabe destacar, que los programas nacionales del manejo del fuego, al menos en los países Centroamericanos y del Caribe, han basado sus acciones principalmente en prevención y control de incendios. Tomando en consideración que sus funciones en manejo del fuego han estado bajo la responsabilidad de una o varias instituciones públicas. También, han contado con una legislación dispersa en varios cuerpos normativos siendo esto una debilidad para brindar soporte técnico y económico al manejo del fuego, sin embargo, Costa Rica cuenta con el Decreto N 37480-MINAET, donde se oficializa la Estrategia Nacional de Manejo Integral del Fuego y se ratifica la CONIFOR (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, 2017).

En Costa Rica el Programa Manejo del Fuego es el encargado de proteger los Recursos Naturales y Culturales presentes tanto en el Área Silvestre Protegida como en las zonas de amortiguamiento, ambos componentes conforman el Área de Conservación Guanacaste (ACG). Donde se sustenta las actividades del ACG en regulaciones previstas en las diferentes leyes ambientales creadas en el país,

Ley de Creación del Servicio de Parques Nacionales 6084, Ley Forestal 7575 y Ley de Conservación de la Vida Silvestre 7317 y convenios internacionales ratificados por nuestro gobierno. (Área de Conservación Guanacaste, 2018).

Es así como en el ACG se crea el Programa de Manejo del Fuego, con el fin de suprimir el fuego para restaurar el bosque seco perteneciente a dicha zona protegida. Es importante mencionar que antes de ser una Área Protegida, Santa Rosa fue una hacienda dedicada a la explotación ganadera. Tras la declaración del Parque Nacional Santa Rosa, y por la incompatibilidad con la legislación costarricense, el ganado vacuno fue expulsado, presentándose como consecuencia inmediata la acumulación de grandes cantidades de combustible forestal, provenientes principalmente de las gramíneas anuales, entre ellas el Jaragua (especie africana introducida con el fin de alimentar el ganado). Al no contar con ningún control sobre los fuegos, estos se presentaban durante la época seca en los grandes pastizales llegando hasta los remanentes del bosque, donde avanzaban hacia el interior del mismo (Área de Conservación Guanacaste, 2018).

Por tanto, para poder restaurar un bosque seco, es necesario la supresión total de los incendios, de forma que se favorezca la recolonización por parte de especies nativas, permitiendo así a los potreros llenarse de semilleros y árboles de las especies grandes (Janzen, 1986). Esta restauración del bosque seco se inicia con un proceso que está estrechamente ligado a los remanentes de bosque y su calidad, entre más grandes y más representatividad de especies incluya, tanto arbóreas, agentes polinizadores, y distribuidores de semilla, más posibilidades de regeneración se obtienen (Área de Conservación Guanacaste, 2018).

Finalmente, en Costa Rica, el manejo integral del fuego toma lugar importante en la actualidad, tomando en consideración a la sociedad en la mejora del manejo del fuego futuro. Según (Vega, 2015) se debe de fortalecer a nivel nacional, los procesos en sensibilización, información y educación masiva del mejor uso del fuego, a través de los medios de comunicación, así como en los centros educativos de enseñanza básica, diversificada, técnica y superior. Así como el Gestionar la cooperación entre instituciones del sector educativo, para el desarrollo de actividades de capacitación, dirigidos a la sociedad civil y la empresa privada a efectos de capacitarles en temas de prevención y extinción

de incendios forestales. Involucrar por medio de alianzas estratégicas a más empresas privadas, como con las comunidades, promoviendo brigadas voluntarias para la prevención y combate de incendios forestales.

2.3 Un ecosistema dentro del bosque seco, sabana natural

La sabana corresponde a uno de los ecosistemas con mayor extensión territorial en el mundo abarcando aproximadamente el 10% de la superficie terrestre. En el Neotrópico, la sabana es el segundo tipo de vegetación más dominante con aproximadamente tres millones de kilómetros cuadrados (Jiménez, 2016), ocupándose un 45% de ellas en América del Sur, siendo parte del Cerrado en Brasil, Llanos de Venezuela, Llanos Orientales de Colombia y las Sabanas de Bolivia y de Guyana (Rippstein, Amézquita, Escobar y Grollier, 2001).

Las sabanas están localizadas en sitios con estacionalidad marcada, con elevaciones menores a 1500 m y a veces están entremezcladas con bosques formando un mosaico heterogéneo. Poseen suelos pobres en nutrientes, mal drenados, ácidos y rocosos (Jiménez, 2016). Climáticamente las sabanas se desarrollan sobre sitios que presentan una muy marcada estacionalidad, la estación seca se puede extender entre 2 y 9 meses, incluso se puede presentar variabilidad entre años. El promedio de temperaturas oscila entre 20 y 30 °C, presentándose una diferencia estacional entre el invierno y el verano de 10 a 15 °C. La precipitación anual oscila entre los 500 y 1500 mm (Artavia, 2011).

Son consideradas un macro-ecosistema importante en función de su topografía plana, que las hace susceptibles de mecanización agrícola, además porque su uso en la producción ganadera extensiva es históricamente reconocido, al tiempo que han sido y son, refugio de grandes grupos de mamíferos silvestres, sin embargo, las condiciones físicas de su suelo requieren un uso cuidadoso (Lacayo, Trujillo, Ossa, 2016).

Dixon et al. (2014), citado por Villaroel, Munhoz, y Proenca (2016, p. 50) menciona de manera más concreta que las sabanas son formaciones vegetales de climas extremadamente xéricos y que presentan elementos arbustivos y arbóreos que pueden desarrollarse sobre una capa continua de hierbas, dominadas por gramíneas, o que se pueden encontrar en regiones de climas templados y altitudes elevadas (andinos) como los Páramos, Puna y Prepuna; y

en regiones subtropicales, como las Pampas, Estepas y otras más que podrían ser consideradas bajo el concepto de sabana.

Importante recalcar que, no existe un factor ambiental único que determine el origen y la estabilidad de las sabanas; no obstante, la hipótesis más aceptada sobre la estabilidad del ecosistema sabana a través del tiempo propone que los suelos donde están localizadas son extremadamente oligotróficos y debido a ello no existe un estrato arbóreo continuo (Sarmiento 1984). Otra hipótesis que explica la presencia de este ecosistema es que existen relaciones sinérgicas entre el fuego y la baja fertilidad del suelo. Siendo el fuego un factor que brinda estabilidad a las sabanas al prevenir la formación del bosque (Beerling y Osborne, 2006; citado por Jiménez, 2016, p. 74).

Sin embargo, sobre la base de la génesis de las sabanas, se puede distinguir las sabanas naturales o primarias y sabanas antrópicas o secundarias. En tal sentido, según Rorhidi y Herrera (1977), citado por Lacayo, Trujillo y Ossa (2016, p. 124) se tienen las sabanas naturales o primarias, que pueden distinguirse según el factor ecológico principal que las controle, entre ellas están:

1. Las sabanas climáticas, la cuales se originan en sistemas ambientales muy secos, donde las precipitaciones anuales oscilan entre 300 y 600 mm, y se presentan 9-10 meses secos. Bajo estas condiciones se caracteriza prácticamente la formación semidesértica, suelos rocosos que no favorecen el crecimiento de las gramíneas. Aquí se encuentra una vegetación arbustiva semidesértica con cactáceas u otras suculentas columnares.
2. Sabanas edáficas, son las que se desarrollan en un clima estacionalmente seco (con 5-8 meses secos) y en terrenos llanos, condicionadas por suelos de poca profundidad y/o de mal drenaje, que provocan en la vegetación una economía extrema del agua. Éstas se caracterizan por la inundación del ecotopo en la época de lluvia, y el aridecer del suelo en época seca.

Ahora bien, las sabanas antrópicas o secundarias se subdividen teniendo en cuenta la extensión e intensidad de la influencia humana, según Rorhidi y Herrera (1977), citado por Lacayo, Trujillo y Ossa (2016, p. 124).

1. Sabanas semiantrópicas, éstas en general, poseen una la flora herbácea original del ecotopo y de su alrededor, bajo una influencia antrópica no muy intensa y que no se repite regularmente (fuegos escasos, pastoreo extensivo). En éstas, la flora es propia del ecotopo original.
2. Las sabanas antrópicas, se desarrollan bajo una influencia profunda, continua o regularmente repetida (tala, fuegos constantes, pastoreo intensivo). Aquí ni la flora, ni el ecosistema son propios del ecotopo, aunque ambos tienen continuidad sucesional (por el proceso de la degradación) con la flora y el ecosistema original (sabanas arcillosas y aluviales).
3. Por último, las sabanas artificiales, son formadas por la actividad humana después de la destrucción completa de la flora y vegetación originales y de las sabanas antrópicas. En este caso, la flora y el ecosistema son igualmente ajenos al ecotopo y no tienen continuidad sucesional (por la degradación completa) con la flora ni con el ecosistema original.

2.4 Vegetación predominante de las sabanas naturales

De manera general, las sabanas se caracterizan por tener vegetación predominante en árboles y arbustos dispersos sobre un estrato dominado por gramíneas, sin la formación de un dosel leñoso continuo (Ribeiro y Walter, 2008., citado por Villaroel, Munhoz, y Proenca, 2016; Lacayo, Trujillo, Ossa, 2016). Asimismo, están dominadas por pocas especies herbáceas como leñosas (Huber, 1987).

En el Neotrópico, las sabanas cubren una superficie de más de 3 000 000 km². Fisonómicamente, la sabana es un pastizal con o sin árboles y arbustos en diferentes densidades donde las gramíneas y ciperáceas perennes constituyen la vegetación dominante (Varguez, Ortiz y Tun, 2012). El principal componente dentro del ecosistema de sabana lo constituyen las gramíneas, las cuales se presenta en matas o en un amplio tapete. La abundancia relativa y la distribución espacial de árboles y pastos pueden diferenciarse marcadamente entre diferentes sitios que presentan sabanas (Artavia, 2011).

En Costa Rica, estructuralmente, en sabanas del Térraba predomina un estrato arbustivo con la abundante presencia de especies como nance (*Byrsonima crassifolia*) y raspaguacal (*Curatella americana*), dichos arbustos alcanzan entre

dos y tres metros de altura, con densidades que en algunas ocasiones parecen ser muy significativas. Destacando *Byrsonima crassifolia* y *Crescentia cujete* (Jícara) como especies indicadoras de este tipo de ecosistemas. De igual manera, en las sabanas del bosque seco del Área de Conservación Guanacaste (ACG), se encuentran los arbustos del raspaguacal, nance, pero también el algodón silvestre (*Cochlospermum vitifolium*), y al menos 29 a 41 especies de herbáceas; siendo una de las más interesantes por la interacción que presenta con el fuego, la *Bulbostylis paradoxa*, la cual se puede encontrar en las sabanas naturales de Centro y Sur América (Jones y Álvarez, 2018).

2.5 Carga de combustible en los ecosistemas

La extensión y capacidad de propagación de los incendios forestales dependen en gran medida de la cantidad de combustible y de la humedad que contiene dicho combustible (Mondal y Sukumar, 2016; citado por Vargas, Campos, 2018, p.435).

Por tanto, los combustibles se consideran cualquier sustancia o compuesto susceptible de encenderse y mantener un proceso de combustión. Son toda la materia orgánica que se encuentra en los montes y que se encuentra disponible para la combustión en los incendios forestales, incluyendo la biomasa de plantas vivas y sus partes (follaje, tallos, ramas y raíces), así como sus restos (llamados necromasa), que incluyen troncos de árboles muertos en pie o caídos, tocones, residuos leñosos y hojas que se encuentran en el mantillo, así como la materia orgánica del suelo (Arnaldos, Navalón, Pastor, Planas, y Zárate, 2004; citado por Morfin, Jardel, Alvarado, y Fuentes, 2012, p. 11).

En términos generales los combustibles se dividen en tres capas: combustibles del suelo, combustibles de superficie y combustibles del dosel. Los primeros consisten en la materia orgánica en descomposición y humus por encima del suelo mineral y debajo del mantillo; los segundos son la hojarasca fresca, fragmentada y el material leñoso caído que forman el mantillo sobre el suelo y la vegetación viva o muerta de los estratos herbáceo y arbustivo; el tercer estrato está formado por los troncos y las copas de los árboles, incluyendo a los árboles muertos en pie (Morfin, Jardel, Alvarado, y Fuentes, 2012).

Los combustibles son la fuente de energía para el desarrollo del incendio, que no sería posible sin su presencia, y uno de los elementos clave en el comportamiento del fuego y en sus efectos, modulando su intensidad y severidad (Arellano, Vega, Ruíz, Arellano, Álvarez, Vega y Pérez, 2017). Por tanto, para que se produzca el fuego, se necesita la carga de combustible que es parte de los tres elementos que constituyen el triángulo del fuego, a parte del comburente (oxígeno) y calor (que inicia el proceso de combustión y lo mantiene) (Morfin, Jardel, Alvarado, y Fuentes, 2012).

Aunado a los anterior, diríamos que el término peligro de incendio se refiere al potencial comportamiento del fuego y de la severidad de sus efectos sobre los ecosistemas, así como a la resistencia de los incendios a los esfuerzos de combate o supresión. El peligro de incendio está determinado por los combustibles, esto es, por el tipo, la cantidad, distribución horizontal y vertical, inflamabilidad, compactación y tamaño del material que puede encenderse y mantener la propagación del fuego. El riesgo de incendio se refiere a la probabilidad de ignición (natural y antropogénica) y la propagación del fuego, determinada principalmente por las condiciones del estado del tiempo (Hardy, 2005).

Por tanto, la información acerca de las características y propiedades de los combustibles es indispensable, tanto para fines prácticos del manejo, como para la investigación acerca de la ecología del fuego (Morfin, Jardel, Alvarado, y Fuentes, 2012); ya que ha sido señalado como una necesidad expresada por los encargados de protección contra incendios y como una de las prioridades de investigación para el manejo del fuego (Jardel, y Enrique, 2010). Así como para la evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de incendios y quemas prescritas (Seiler y Crutzen 1980; citado por Morfin, Jardel, Alvarado, y Fuentes, 2012, p. 9).

Es así, que una mejora del conocimiento de las características de los combustibles siempre ha resultado crítica para las tareas de planificación de acciones preventivas, la extinción del fuego y la restauración de áreas quemadas (Arellano, Vega, Ruíz, Arellano, Álvarez, Vega y Pérez, 2017).

Su comprensión brindaría aportes para manejo y manipulación, obteniendo los efectos deseados, sobre todo para: contener y controlar los incendios, reducir la

intensidad del fuego producir y mantener las condiciones deseadas tanto en los ecosistemas naturales como en los paisajes domesticados (Myers, 2006).

El conocimiento del complejo de combustibles en los ecosistemas es de fundamental importancia para el éxito de las acciones de manejo del fuego y es importante también para la aplicación de medidas de mitigación del cambio climático y adaptación a este. Los datos generados en la caracterización y cuantificación de combustibles, tienen también aplicaciones en la evaluación de los efectos de incendios y quemas prescritas, en la calidad del aire, (Seiler y Crutzen 1980; citado por Morfin, Jardel, Alvarado, y Fuentes, 2012, p.9; Xelhuantzi, Flores, Chávez, 2011) y en la caracterización los hábitats, dado que la biomasa de plantas, los residuos leñosos y el mantillo son componentes esenciales para mantener la diversidad de especies (Harmon, Whigham, Sexton, y Olmsted 1995).

Por lo anteriormente descrito, es que se considera importante recalcar y describir tres componentes que influyen y/o que pueden determinar la carga de combustible de un sitio, siendo estos 1) el tipo de cobertura vegetal, 2) densidad de la vegetación y 3) propiedades fisicoquímicas de la vegetación.

2.5.1 Cobertura vegetal:

La cobertura vegetal es el área generada sobre el suelo por la proyección horizontal, de los pastizales, así como de los árboles o arbustos (Ministerio de Ambiente, 2015). A su vez la cobertura vegetal está conformada por tres estratos, el dosel, el estrato arbustivo y el estrato herbáceo o de vegetación baja, los cuales pueden evaluarse de forma conjunta por medio de parcelas o sitios de muestreo de dimensiones fijas, obteniendo también datos de propiedades importantes, tales como la cobertura, composición y altura (Soto y Pompa, 2012).

2.5.2 Densidad de la vegetación:

La densidad de la vegetación es el número de individuos que existe en un área determinada y que debe estar referida en una unidad de superficie como la hectárea. Es aplicado a cada tipo de bosque y tipo de matorral inventariado; así, resulta ser el promedio obtenido de las unidades muestrales levantadas. De igual forma que la cobertura vegetal, esta puede determinarse en primera estancia por medio de parcelas con dimensiones fijas (Ministerio de Ambiente, 2015).

2.5.3 Propiedades fisicoquímicas de vegetales:

Mientras que el conocimiento de las propiedades fisicoquímicas de los combustibles o vegetación aporta datos que son necesarios para la evaluación y modelaje del comportamiento y los efectos potenciales del fuego en los incendios forestales, así como en la planificación de tratamientos de quema prescrita y control mecánico de combustibles. Debido a que dichas propiedades brindan información en cuanto a la resistencia y capacidad de albergar humedad. Por ejemplo, de los especímenes que se enfrentan al fuego (Morfin, Jardel, Alvarado, y Fuentes, 2012).

3. MARCO METODOLOGICO

3.1 Enfoque, tipo y diseño de investigación

Para la presente investigación se consideró que su enfoque en aplicación es la cuantitativa. Debido, a que en su esencia posee información numérica con una recolección de información de un número grande de individuos vegetales, presentes en mayor abundancia en la sabana natural del sector El Hacha del Parque Nacional Guanacaste. Utilizándose, asimismo, instrumentos como las parcelas, subparcela, cintas métrica y diamétrica, así como balanzas de peso, balanzas de curvas de secado y equipos para observar y medir aspectos como la propagación horizontal y vertical del fuego y poder calorífico de los especímenes. Permitiendo una medición, observación y documentación cuantitativa (Ulate y Ortiz, 2015).

De igual manera, su propósito de investigación es la estimación básica de carga de combustible presente en los sitios estudiados, siendo así una temática o investigación específica y medible a través de datos observables, en donde se usaron instrumentos de recolección de datos ya predeterminados (como los mencionados anteriormente), con información que permitió la codificación numérica de un largo número de individuos. Debido a estos datos numéricos es que se utilizaron paquetes computacionales para la realización de análisis estadístico que permitiera establecer relaciones, comparaciones e, interpretación de resultados. Dichos resultados motivaron la descripción, comparación de los especímenes, hallazgo de diferencias o relaciones entre las variables (Ulate y Ortiz, 2015; Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

Importante recalcar, que al ser una investigación cuantitativa se definieron las variables a medir y estudiar, mediante los objetivos de investigación. (Ulate y Ortiz, 2015). Siendo estas, variables biológicas y variables fisicoquímicas. Dentro de las primeras se encuentran la identidad de la cobertura vegetal dominante, que por medio de porcentajes se estima la presencia de especies en el área. Así como la densidad de la vegetación predominante, donde se cuantifican por medio de parcelas y subparcelas el número de individuos en el área. En cuanto a las variables fisicoquímicas, estas se encuentran, lo que es la determinación del poder calorífico, o sea, la máxima cantidad de calor de combustión que puede

tener un individuo vegetal. Y las curvas de secado, la cuales determinan la eliminación de agua que puede tener un vegetal por medios térmicos.

En cuanto al Diseño y Tipo de investigación que posee el presente proyecto. Se deduce que el Diseño aplicado es el, no experimental, ya que no hubo manipulación deliberada en las variables en medición y estudio. O sea, la vegetación y los sitios en estudio no se manipularon, lo que se realizó fue una observación, medición, en su ambiente natural. Asimismo, dichas observaciones y mediciones se realizaron en un momento dado. Para esta investigación, dichas observaciones se realizaron en época seca, ya que es la época donde se presenta mayores incidentes y/o accidentes en cuanto al mal manejo del fuego, asimismo, porque en la época seca es donde se tiene una cobertura vegetal específica, así como una determinada densidad de combustibles, y propiedades fisicoquímicas de los vegetales idóneas para que se generen o provoquen los incendios forestales en los sitios de estudio del Área de Conservación Guanacaste. (Ulate y Ortiz, 2015; Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

El Tipo de investigación transeccional o transversal según su finalidad, es describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Por tanto, su propósito en esta investigación es describir las propiedades fisicoquímicas de la vegetación predominante de los sitios, así como su densidad para determinar la carga de combustible que posee dichos sitios que los hacen vulnerables a incendios forestales (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

De manera más precisa, el tipo de investigación de este trabajo, la hace ser transeccional o transversal-descriptiva. Esto, porque como se mencionó en el párrafo anterior, lo que se busca es describir las características que poseen ambos sitios en estudio en una situación actual. Presentando las cosas de la manera como son o como eran (Schumacher y McMillan, 2010).

Obteniendo entonces, que el Diseño de investigación es no experimental de Tipo transeccional o transversal (Ulate y Ortiz, 2015; Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

3.2 Contexto de la investigación

Las sabanas suelen encontrarse en sitios con estacionalidad marcada, menores a 1500 m.s.n.m, crecen en suelos pobres en nutrientes, mal drenados, ácidos y rocosos (Vargas y Cortés 2000).

En Costa Rica, estos ecosistemas se encuentran presentes a lo largo de la vertiente del Pacífico en sitios con un marcado periodo estacional con dinámicas asociadas a incendios forestales y producción ganadera (Beard, 1953). En Guanacaste, las sabanas suelen encontrarse en la Península de Santa Elena, la Meseta Volcánica de Ignimbritas, en los sectores del Área de Conservación Guanacaste (ACG), como el Hacha, Cerro Pelado y las estribaciones occidentales de los volcanes de la cordillera volcánica de Guanacaste (Jiménez, 2016).

El ACG se encuentra ubicada al noroeste de Costa Rica, en la provincia de Guanacaste. La zona de vida dominante es el bosque tropical seco, (Janzen, 1986). Posee un clima estacional, con una estación seca de 3 a 6 meses que se desarrolla usualmente entre noviembre y abril, la precipitación media anual varía entre 1 500 y 1 950 mm, la temperatura media anual varía entre 24 y 27,8°C y la relación anual entre evapotranspiración y precipitación es cercana a 1 (Holdridge, 1978).

El área de estudio se localiza dentro del ACG, en la sabana natural de la parte baja del sector el Hacha (Figura 2) en los lugares conocidos como Laguna de Guayabal y el Amo del Parque Nacional Guanacaste (PNG) (Figura 3).



Figura 2. Sitio de estudio, sector El Hacha (●) del Área de Conservación Guanacaste. Fuente: Área de Conservación Guanacaste (2018). Modificado por Chavarría, Y (2019).

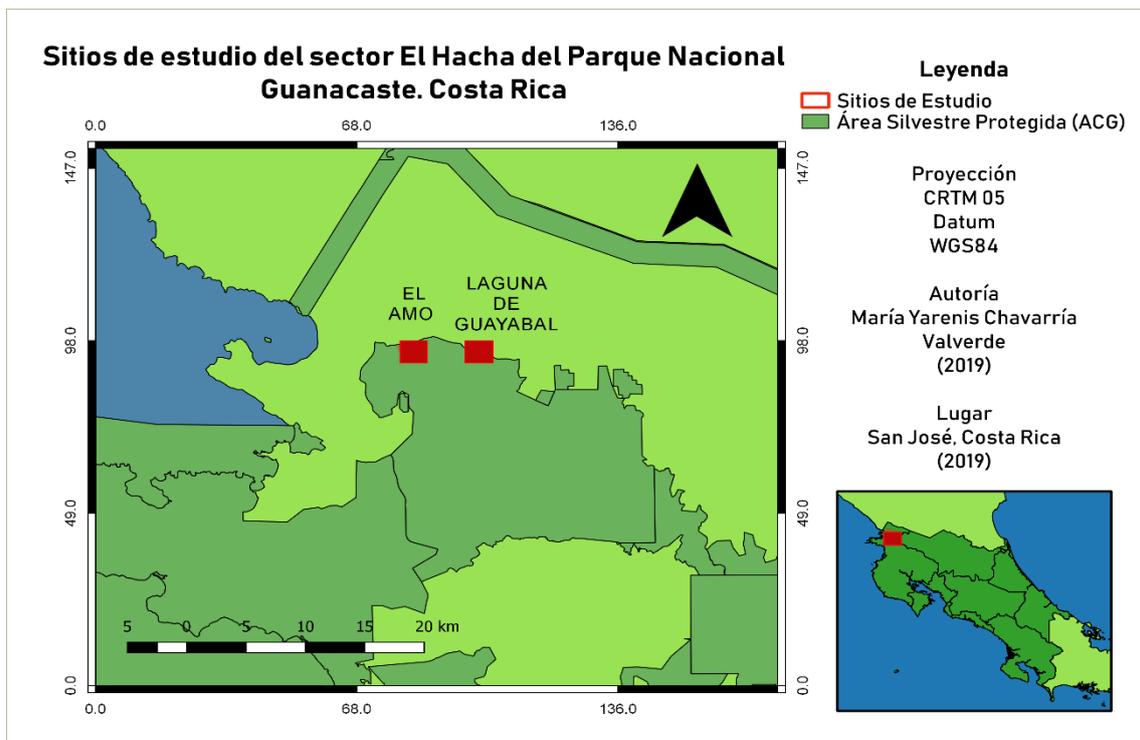


Figura 3. Sitios de Estudio del Área de Conservación Guanacaste (El Amo y Laguna de Guayabal). Fuente: Elaboración propia.

3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.3.1 Variables o categorías de análisis

Variables biológicas

Tipo de cobertura

La identidad de la cobertura hace referencia a la identificación de los estratos presentes en un terreno. La cobertura, se refiere a la proporción de terreno ocupada por el predominio perpendicular de las partes aéreas de las especies consideradas. Usualmente expresada en porcentaje. En comunidades con varios estratos, la cobertura total para todas las especies puede basarse en una parcela de 100 % (Hernández, Sarra y Yancas, 2000).

Se tomaron en cuenta los estratos arbustivos o leñosos, y los estratos de herbáceas gramínoideas y no gramínoideas. Siendo estos los estratos más dominantes en las sabanas de la vertiente pacífica (Guanacaste) (Jiménez, 2016).

Densidad de la vegetación

Densidad de la vegetación hace referencia al número de individuos por unidad superficial. Donde los elementos cuantificados pueden ser plantas enteras o porciones de éstas, dependiendo de la morfología de las especies estudiadas (Hernández, Sarra y Yancas, 2000).

La densidad puede ser medida por medio de parcelas, dentro de las cuales se registran todos los individuos encontrados. Esta opción es adecuada principalmente para comunidades arbóreas, arbustivas y cactáceas. Sin embargo, es necesario utilizar parcelas de superficie que aseguren la representatividad de cada unidad muestral (Hernández, Sarra y Yancas, 2000; Jiménez, 2016).

Variables fisicoquímicas

Poder calorífico

El término relativo a la energía más común, asociado con la combustión, es el poder calorífico. El poder calorífico de un combustible es la máxima cantidad de calor de combustión que puede obtenerse, a partir de la reacción y del enfriamiento de los productos de la combustión completa (Ruiz, 2009).

El poder calorífico es medido en calorímetros de laboratorio (unidades y equipo se especifica en el apartado siguiente 3.3.2). Los métodos calorimétricos consisten en quemar una cierta cantidad de combustible frente a un exceso de oxígeno. Luego se determina la cantidad de calor producida a través de la energía térmica ganada por un líquido conocido, generalmente el agua (Granja, Herrera y Villamarín, 2008).

Curvas de secado

La operación de secado consiste en la eliminación de un líquido contenido en un sólido, por medios térmicos. El término secado es relativo y significa solamente que hay una reducción en el contenido de humedad desde un valor inicial hasta un final (Universidad Autónoma de México, 2016).

Las curvas de secado reflejan el paso del sólido por distintos períodos a medida que la humedad del sólido se reduce desde un valor inicial elevado, hasta el pequeño valor final, que puede incluso ser la humedad de equilibrio. Las curvas de secado permiten obtener una estimación de la velocidad de secado y eventualmente la energía requerida para el proceso (unidades y equipo se menciona en el siguiente apartado 3.3.2) (Universidad Autónoma de México, 2016).

Variables de carga de combustible

Propagación de la llama vertical y horizontal

La propagación de la llama es la forma en que se transmite el calor a los combustibles cercanos, provocando la ignición de éstos, de forma que aportan una mayor energía a la reacción de combustión (Ministerio de Ambiente, 2015a).

Los mecanismos más tradicionales en la propagación de la llama son los que se refieren a la propagación horizontal y vertical. El primero se refiere a una propagación en un mismo nivel, se caracteriza por no desplazarse a zonas más altas, o bajas del bosque o la vegetación. Mientras que la propagación vertical, el fuego se expande a pisos superiores, o sea, el fuego va ascendiendo en la vegetación de manera que va llegando a los estratos más altos del bosque (las copas de los árboles) (Moreno,2013).

Carga de combustible

La carga de combustible es toda biomasa que potencialmente puede arder al ser expuesta a una fuente de calor. Cuanto mayor sea la acumulación de combustibles en una zona, mayor cantidad de calor podrá desprenderse y el incendio podría ser más intenso. Los combustibles pueden ser caracterizados por su carga; es decir, el peso de la biomasa por unidad de superficie (kg/m^2). La carga de combustible (kJ/m^2) se expresa como una relación entre el poder calorífico (kJ/kg) y la densidad de la vegetación (kg/m^2), teniendo como condición la velocidad de secado de las plantas (Nájera y Hernández, 2008).

3.3.2 Técnicas e instrumentos

Variables biológicas

Densidad de cobertura vegetal en el sitio de estudio:

Se realizaron cuatro visitas al campo (en la parte baja del sector el Hacha del Parque Nacional Guanacaste -Laguna de Guayabal y El Amo-) para la toma de datos relacionadas al tipo de vegetación dominante en el sitio y su densidad, así como la colecta de muestras para la determinación de propiedades fisicoquímicas.

Se elaboraron seis parcelas en la Laguna de Guayabal y otras seis parcelas en el Amo. Siendo un total de 12 parcelas, de 10 X 50 metros (figuras 4 y 5). En cada una de las parcelas de 10 X 50 metros, se realizó un conteo de todos los componentes leñosos. Se estimaron también, la altura de cada componente leñoso y su diámetro medido a la altura del pecho (DAP), que se encuentran en al menos el 50 % de todas las parcelas realizadas. Esto se realizó por medio de una cinta métrica (Weiss de 100 m) (Anexo, figura 2 (2.1)), y una cinta diamétrica (Best Measuring Tape de 5m) (Anexo, figura 2 (2.2)).

Importante mencionar que las parcelas se realizaron aleatoriamente en el campo, tomándose en cuenta únicamente que las parcelas estuvieran a 10 metros de distancia de la calle y/o carretera.

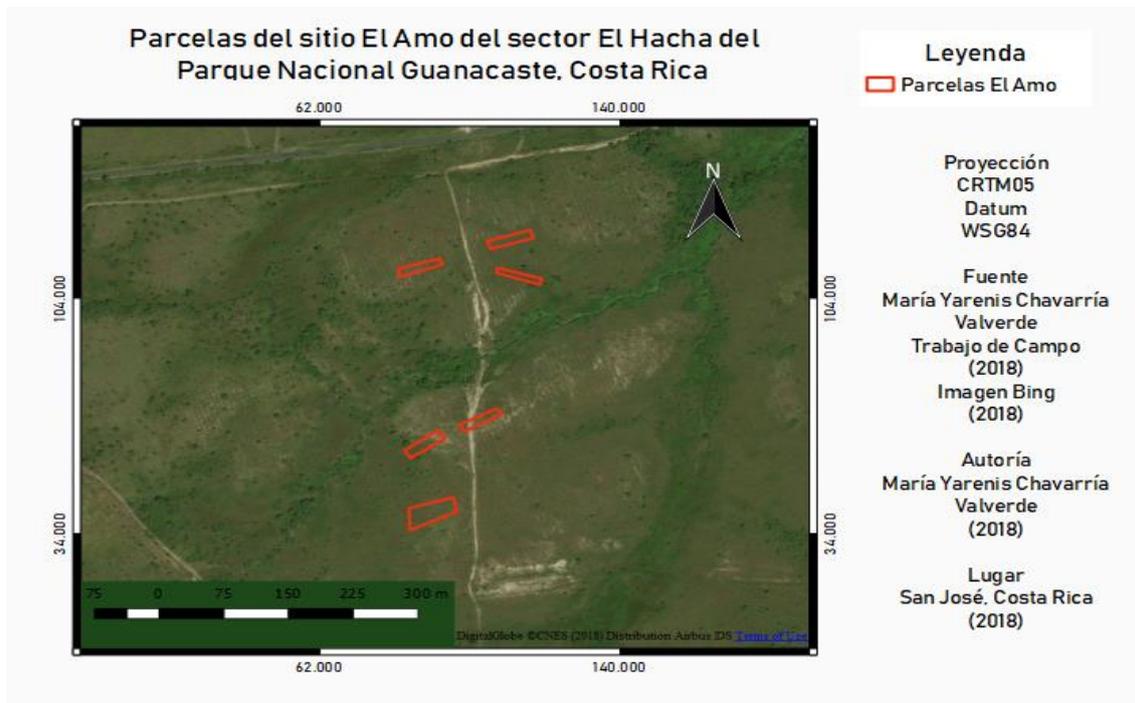


Figura 4. Parcelas del sitio de estudio El Amo, Área de Conservación Guanacaste. Fuente: Elaboración propia

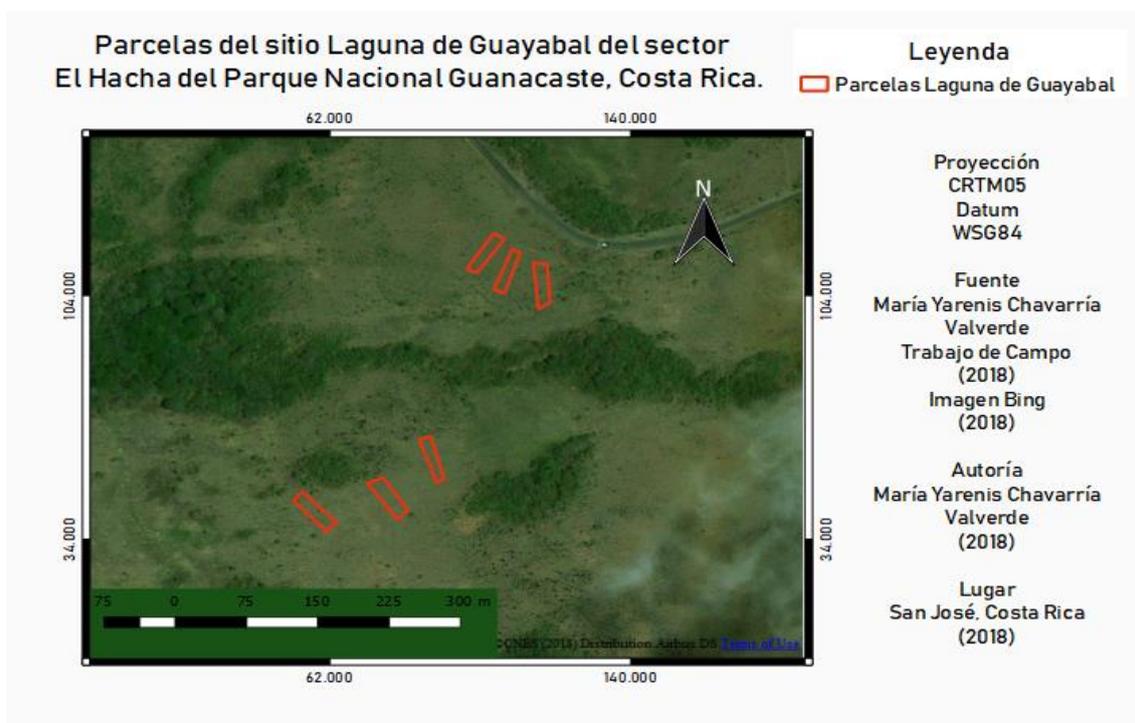


Figura 5. Parcelas del sitio de estudio Laguna de Guayabal, Área de Conservación Guanacaste. Fuente: Elaboración propia.

Importante mencionar que las parcelas se realizaron aleatoriamente en el campo, tomándose en cuenta únicamente que las parcelas estuvieran a 10 metros de distancia de la calle y/o carretera.

La altura de los árboles en el sitio de El Amo se realizó de tal manera que los arbustos que medían entre 0 cm a 50 cm se les cerraba la medición a 50 cm, de 50 a 100 cm se cerraba a 100 cm, los de 100 a 150 cm se cerraba a 150 cm, de 150 a 200 cm se cerraba a 200 cm, y las de 200 a 300 cm se cerraban a 300 cm, 300 a 400 cm se cerraban a 400 cm, de 400 a 500 cm se cerraba a 500 cm, de 600 a 700 cm se cerraba a 700 cm y de 700 a 800 cm se cerraba a 800 cm. Se optó por realizarse así, debido a la dificultad de medir con exactitud a los árboles superiores a los 200 cm, con la cinta métrica (Anexos cuadro 1).

Para el caso de las alturas tomadas en el sitio de la Laguna de Guayabal, se optó por la misma dinámica, sin embargo, al presentar muchas plántulas en rebrote, se empezaron a cuantificar desde los 10 cm de altura.

Es así como en los cuadros 1 y 3 de la sección de resultados, se muestran la cantidad de individuos menor o igual a la altura indicada.

En cuanto al Diámetro a la altura al Pecho, lo que se realizó fue considerar los árboles mayores a los 120 cm de altura con grosor mayor o igual a los 2,5 cm.

Por medio de las subparcelas de 1 X 1 metro (Anexo, figura 1 (1.4)) se estimaron el tipo de cobertura y/o cobertura vegetal (siendo los estratos inferiores: herbáceas gramíneas y herbáceas no gramíneas, suelo desnudo y roca), utilizando una cuadrícula con tubos de PVC y mecate, dividida cada 10 centímetros. Se trabajó con porcentajes de cobertura la cantidad de cuadrantes que cubrió cada tipo de cobertura vegetal.

En ese sentido, (y como se muestra en la figura 6) es necesario aclarar, que las subparcelas se colocaron a lo largo de las parcelas de 10 X 50 metros. Tomándose como punto de partida la mitad del ancho de la parcela, o sea, de los 10 metros de ancho, se tomó los 5 metros para colocar la cinta métrica, avanzando cada 5 metros. Obteniendo por parcela, 10 subparcelas calculadas.

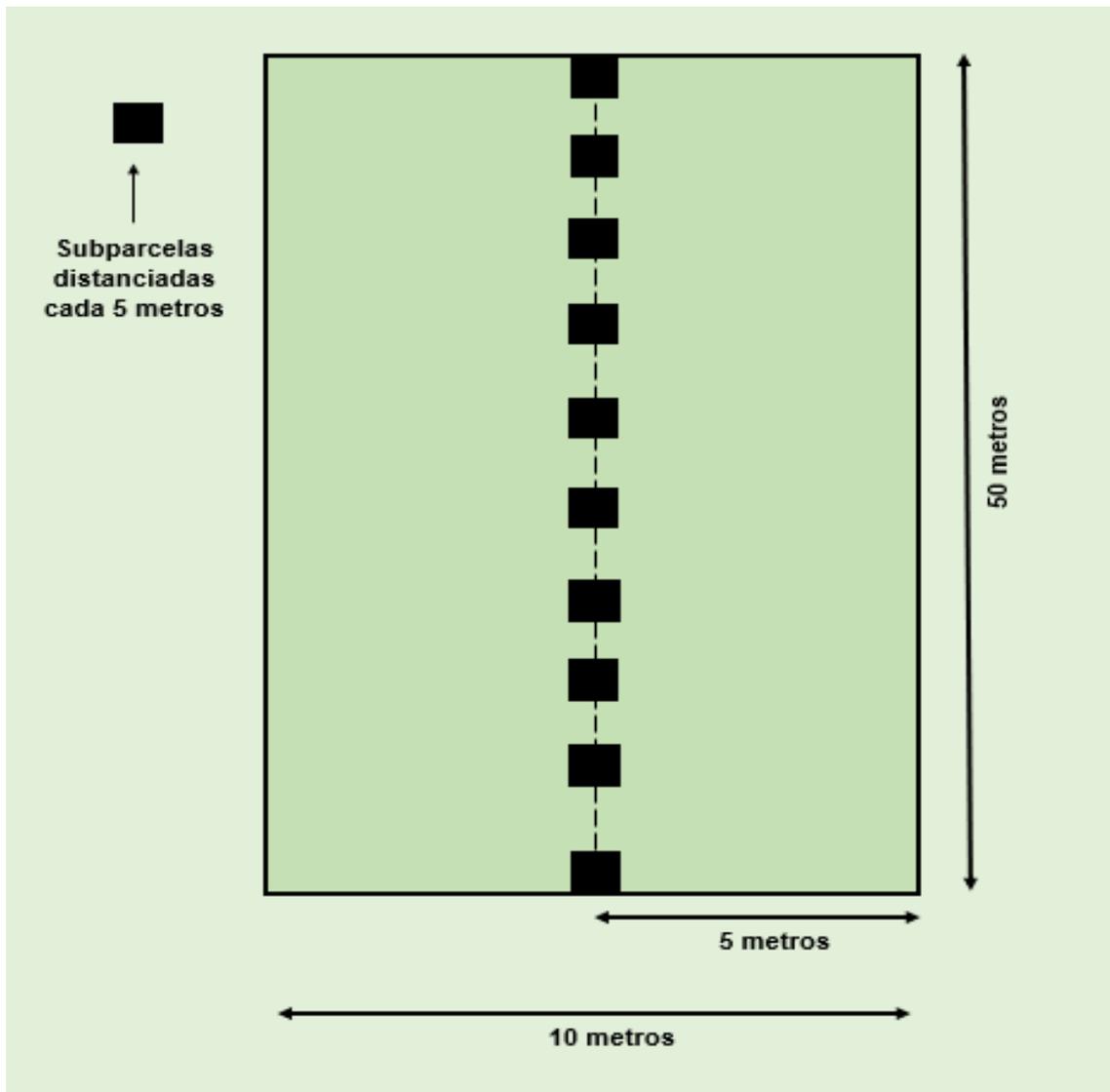


Figura 6. Subparcelas dentro de las parcelas en estudio. Fuente: Elaboración propia

Se tomaron puntos geográficos con ayuda de un GPS (Garmin / GPS Smop 60CSx) (Anexo, figura 2 (2.3)), en el sitio de estudio (Laguna de Guayabal y el Amo) de la parte baja del sector el Hacha. Se digitalizaron, dichos puntos en imágenes de Bing, así como mapas de Costa Rica y de Centroamérica en el programa QGIS 2,18 de Sistemas de Información Geográfica.

Es importante mencionar que, al momento de la toma de datos de la cobertura vegetal, se hizo en dos momentos distintos, entre ambos sitios. La toma de datos del El Amo se realizó en época seca. En el caso del sitio de la Laguna de Guayabal, los datos se tomaron al inicio de época lluviosa, con posterioridad de un incendio, estando en proceso de recuperación.

VARIABLES Físicoquímicas

Propiedades físicoquímicas de la vegetación dominante en el sitio de estudio:

Se recolectó el material (ramas y hojas) de la vegetación dominante en el sitio de estudio, la parte baja del sector el Hacha. Dicha vegetación se identificó por medio de las parcelas. El material se recolectó mediante el apoyo de machete, bolsas plásticas grandes, debidamente rotuladas con marcador indeleble y cerradas con cinta adhesiva (Anexo, figura 1 (1.6)). Las muestras fueron trasladadas a un sitio abierto y seco, para su secado natural sobre papel periódico extendido, por al menos 3 días. Se voltearon frecuentemente, para obtener un buen secado y evitar la formación de moho u hongos (Anexo, figura 1 (1.5)).

Luego se procedió a llevar las muestras a secar en Horno de secado (Modelo: OF-O2, Marca: JEIO TECH) (Anexo, figura 1 (1.7)) a 60° C, por aproximadamente 2 horas, en el Laboratorio de Ecología Urbana de la UNED. También se utilizó el Secador casero con bombillas (Anexo, figura 1 (1.8)). Esto se realizó para que la muestra quede bien seca al momento de realizarles la molienda.

Posteriormente, se llevaron a moler las muestras ya secas en el ProLab de la Universidad Estatal a Distancia. Moliendo la muestra en una licuadora de vaso metálico (Anexo, figura 1 (1.9)) y luego pasándola por un sistema de tamizado (Dos tamices de separación de 10 y 20 mesh, siendo la fracción intermedia entre ambos tamices la utilizada para los análisis, con un valor estimado mayor a 2 mm) (Anexo, figura 1 (1.10)). De este tamizado se seleccionó y empacó la muestra molida. Pesándola en la balanza (M-prove Sartorius) (Anexo, figura 1 (1.11)) y anotando su peso correspondiente en la misma bolsa de empaque.

Curvas de secado

Se llevó la muestra molida, al laboratorio de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, y del Programa de Laboratorio de la UNED (PROLAB); la cual se dejó 30 gramos en agua 14 horas un día antes de su análisis. Cubriendo la muestra totalmente con agua, con un nivel de por lo menos la mitad del volumen de la muestra. Este procedimiento permite asumir una saturación total de la muestra con agua.

En la muestra se eliminó el agua superficial por medio de un Generador de vacío (LAB Companion, modelo VE-11, con 12 torr de vacío máximo), conformado de un de un filtro de buchner (10 cm de diámetro), papel de filtro para la retención y vacío de succión, quedando el agua en el Kitasato (500ml) (Anexos, figura 1 (1.14)). Luego de no caer más agua en el Kitasato, se dejó por 10 minutos más para eliminar restos de agua retenidos entre partículas de la biomasa.

Se realizó un secado adicional a la muestra con papel toalla y una prensa de mano (de tortillas). Hasta que no se aprecie más humedad en el papel toalla.

Posteriormente, se llevó la muestra a la balanza de secado (Marca: OHAUS, Modelo: MB35) (Anexos, figura 1 (1.12 / 1.13)), la cual estuvo 30 minutos antes encendida para su estabilización a unos 50° C. Se tomaron 10 gramos aproximadamente de la muestra sin agua inter-partícula y se inició el proceso de secado. Es importante que la masa entre las muestras sea similar para la realización de una evaluación estadística posterior. Es así, que se midió la relación masa (m) vs tiempo (t) para la estimación de la pérdida de agua de la biomasa o muestra.

Al inicio del proceso de secado se midió la masa cada minuto por los primeros 5 minutos. Luego cada 2,5 minutos hasta la pérdida de la linealidad de la relación entre masa y el tiempo, con un $R < 0,999$, es en este punto en que se determina al agua superficial en la muestra e inicial de la difusión interna.

Luego se siguió la medida, tomando valores cada 5 minutos hasta completar la primera hora y después cada 15 minutos hasta la tercera hora. Si se requiere de mayor tiempo, se realiza cada 30 minutos luego de la tercera hora.

Obteniendo entonces, la curva de secado de la biomasa, relación masa vs tiempo. De las curvas de secado, se obtuvo la velocidad de secado de las biomasa y la humedad máxima que pueden tener las mismas.

Densidad óptica de humo, calorimetría (poder calorífico) y propagación de la llama

Las muestras de la vegetación dominante en el sitio de estudio, ya secas y molidas se llevaron al Laboratorio de protección contra Incendios (LAPCI) de la Universidad de Costa Rica. Con el fin de que brindarán datos de densidad óptica de humo y calorimetría (poder calorífico), así como la tasa de combustión y

propagación horizontal y vertical de la llama. Dichos ensayos se realizaron de la siguiente manera:

1. Densidad óptica de humo

Siguiendo el procedimiento de ASTM E662-14 (2014), Método de ensayo de densidad óptica de humo. Se verificó que cada muestra de especie vegetal fuera sometida a una etapa previa de acondicionamiento con el fin de controlar factores críticos tales como la temperatura y humedad.

Cada muestra vegetal fue pesada (balanza digital de precisión Marca: AND GR) (Anexo, figura 2 (2.1)) y adaptada en un porta-muestra donde se procedió con cuidado para no transferir ningún tipo de humedad con las manos a las muestras previamente acondicionadas; en este punto se colocan las muestras, una a la vez, en el porta-muestra, completando el espacio de incidencia que afectará la estufa (76,2 mm x 76,2 mm). Luego se realizó el mismo proceso con las restantes dos muestras de especies vegetales.

Las muestras para ensayar se acondicionaron (en el equipo Associated Environmental Systems, modelo: LH-10) (Anexo, figura 2 (2.6)) durante 24 horas a una temperatura de $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y $50 \pm 5\% \text{HR}$ para controlar el contenido de humedad.

Enseguida, se colocaron las muestras en un porta-muestra limpio apoyado por medio de una tabla de soporte/respaldo con un espesor de 10mm asegurando la abrazadera de la muestra. Es importante mencionar que, antes de que se iniciará el ensayo, la parte de atrás y los bordes de la muestra tuvieron que ser envueltos en una capa de papel aluminio de 0,02mm de espesor; las dimensiones de preparación de la muestra deben ser de 76,2mm x 76,2mm.

Una vez realizado el procedimiento anterior, se continuó la prueba en cuarto con temperatura controlada a $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Luego se encendió el sistema de inyección y la campana de extracción, se abrió el suministro de aire a aproximadamente 0,2 MPa, se ajustó el sistema de alivio y se realizaron pruebas de fugas al interior de la cámara. Se encendió la estufa y cuando la temperatura del radiómetro alcanzó aproximadamente 80°C , se ajusta el flujo de calor a $27 \pm 0.5 \text{ kW/m}^2$ (Anexo, figura 2 (2.2))

2. Calorimetría (poder calorífico)

El poder calorífico, se determinó por medio de una bomba calorimétrica (marca Parr-Oxygen, modelo A50N), sobre las muestras trituradas y secadas previamente.

3. Propagación horizontal de la llama

Siguiendo el procedimiento de ASTM D5132-11 (2014), Método de ensayo estándar para la tasa de combustión y propagación de la llama a nivel horizontal. Se pesó (balanza digital de precisión Marca: AND GR) y adaptó en un porta-muestra cada muestra vegetal (Anexo, figura 2 (2.3)), donde se procede con cuidado para no transferir ningún tipo de humedad con las manos a las muestras; en este punto se colocan las muestras, una a la vez, en el porta-muestra, completando el espacio de incidencia que afectará la llama (100 mm x 300 mm).

Al igual que en la densidad óptica de humo, las muestras para ensayar se acondicionaron, y enseguida, se colocó la cámara dentro de una campana de control de gases (Equipo Marca: FMVSS-302) (Anexo, figura 2 (2.4)), y a partir de este momento, se colocaron las muestras listas para ensayar entre los dos marcos en forma de U, de tal manera, que estuvieran sujetos ambos lados largos y un extremo de la muestra. En este punto es importante mencionar que antes de iniciar el ensayo, fue necesario colocar el espécimen lejos del quemador, esto con el fin de encender y ajustar la llama del quemador a una altura de 38 ± 2 mm.

Una vez realizado el procedimiento anterior, se procedió a colocar la muestra montada en la posición de prueba horizontal en el soporte de muestra en el interior de la cámara de prueba, se encendió la campana extractora y se dejó a la llama tener contacto con el espécimen durante un período de 15 s.

Luego se extinguió la llama de exposición al desconectar el suministro de gas o mediante la eliminación de la llama debajo de la muestra. A partir del momento en el que el borde del ataque del frente de llama entró en contacto con el extremo de la muestra, se puso en marcha el cronómetro cuando la llama, ya calibrada, entró en contacto con el extremo abierto del soporte de muestra y este haya avanzado 38mm.

4. Propagación vertical de la llama

Siguiendo el procedimiento de ASTM D6413 – 08 (2014), Método de ensayo estándar para la tasa de combustión y propagación de la llama a nivel vertical. Se verifico que cada muestra de especie vegetal fuera sometida a una etapa previa de acondicionamiento con el fin de controlar factores críticos tales como la temperatura y humedad.

Luego, cada muestra vegetal fue pesada (balanza digital de precisión Marca: AND GR) y adaptada en un porta-muestra donde se procedió con cuidado para no transferir ningún tipo de humedad con las manos a las muestras previamente acondicionadas; en este punto se colocan las muestras, una a la vez, en el porta-muestra, completando el espacio de incidencia que afectará la llama (100 mm x 300 mm).

La muestra para ensayar se acondicionó (en el equipo Associated Environmental Systems, modelo: LH-10) a una temperatura de 23°C y a 50% de HR para controlar el contenido de humedad. Se tomó el peso de las muestras y sus dimensiones para el cálculo de la densidad por área.

Se colocó la muestra en la probeta de ensayo y se introdujo la probeta de muestra en la cámara de combustión (Equipo Marca: FMVSS-302) (Anexo, figura 2 (2.5)) centrando el borde inferior de la muestra encima del mechero que se encarga de la ignición del material. La regulación de la entrada de gas en el mechero debe ser tal que se obtenga una llama (luminosa) de 40mm \pm 3mm de altura.

Se sometió a la probeta a la acción de la llama durante 12 s, tiempo que ha sido previamente fijado en el cronómetro del equipo. Finalizada la exposición se apaga automáticamente el mechero. Luego, se lee el cronómetro en el momento en el que se apaga la llama en la probeta.

Se continuo la medición de tiempo hasta que el último indicio de combustión luminoso desaparece. Se retira el soporte de la muestra de la cámara de combustión.

Se encendió la campana de ventilación para despejar la cámara de combustión de los gases y el humo permitiendo que la muestra se enfrié. Posteriormente, se determinó el grado de avance de la acción del fuego en centímetros (cm).

Carga de combustible:

La carga de combustible para ambos sitios en estudio del sector El Hacha del Parque Nacional Guanacaste, se determinó utilizando los datos de poder calorífico anteriormente calculados en la calorimetría y la densidad del zacate tomadas de las bibliografías de Molinero y Santana (2016) y Martínez (2001).

Para luego determinar la carga de combustible real, utilizando el porcentaje del zacate presente en ambos sitios (Laguna de Guayabal y El Amo).

3.3.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Variables biológicas

Cobertura vegetal en el sitio de estudio:

Para el análisis de la cobertura vegetal predominante, se tomaron los datos obtenidos en el campo, dentro de las parcelas. Planteando la información de manera ordenada en documento Microsoft Excel Office, estimando entonces, la cobertura de la vegetación predominante en los sitios de estudio (Sitios El Amo, y Laguna de Guayabal, del Sector El Hacha) (Anexo, figura 3). Obteniéndose así, el tipo y/o distribución de la vegetación, porcentaje de cobertura presente en ambos sitios, altura y diámetros a la altura del pecho de las arbustivas con DAP mayor a 2,5 cm.

Variables Físicoquímicas

Curvas de secado

Se realizaron los cálculos de las propiedades físicoquímicas de las muestras de la vegetación más predominante. Este proceso se realizó con cada una de ellas, teniendo en cuenta que, al iniciar con los ensayos de curvas de secado en la balanza de secado, se preparó previamente una tabla de datos de masa (m) vs tiempo (t) en un documento de Microsoft Excel Office. De esta tabla se sacó la pendiente inicial (dm/dt) y se identificó el punto donde se pierde la linealidad ($R < 0,9990$) entre (m) y (t). Este valor se utiliza para calcular la fracción de secado crítico (X_c), según:

$$X_c: \frac{\Delta m_{(t_0-t_c)}}{\Delta m_{(t_0-t_\infty)}}$$

Es importante indicar el valor de la masa a tiempo cero ($m_{t=0}$) y el valor de la masa a tiempo máximo, o en el momento de parada de la balanza, también llamado masa a tiempo infinito ($m_{t=\infty}$)

Asimismo, la variación de masa en el tiempo se indicó como la fracción de masa residual (1-x) donde x es la masa perdida de agua o fracción de secado.

$$X = \frac{m_{(t=0)} - m_{(t)}}{m_{(t=0)} - m_{t=\infty}}$$

Se calculó la pendiente en cada punto como dx/dt y se relaciona dx/dt vs (1-x) para la segunda etapa de la curva desde X_c en adelante.

Luego se calculó la curva (t) vs (1-x) que en general es de tipo polinómica de tercer grado. Esta relación es lineal y nos provee la constante de k, de transferencia fluxional desde el seno de la partícula a la superficie. Donde k, es una constante cinética en función del área de flujo media en las partículas.

Para el cálculo de la constante k se consideró que a 50°C la rapidez de evaporación de agua pura es de:

$$r_{(\text{Agua}, 50^\circ\text{C})} = 11,37 \text{ mmol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Por lo que el cálculo del Área Fluxional se realizó según la siguiente ecuación:

$$A \text{ flux} = (dm/dt) / (60 \cdot 18 \cdot r)$$

$$A \text{ flux esp} = A \text{ flux} / m (t=\infty)$$

Donde:

A flux es: área fluxional de la muestra, en m^2

A flux esp es: el área fluxional específica, en m^2/kg

dm/dt: es la pendiente en el tramo lineal de la curva (m) vs (t) hasta el X_c , en ($\text{mg} \cdot \text{min}^{-1}$)

60: es la conversión de minutos a segundos, en $s \cdot \text{min}^{-1}$

18: son los mg de agua por cada mmol de agua, en $\text{mg} \cdot \text{mmol}^{-1}$

r: es la rapidez de evaporación de agua a la temperatura de trabajo, en $\text{mmol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

m ($t=\infty$): es la masa a tiempo infinito o seca, en kg

El cálculo de k se realizó en función de determinar el rango donde se pierde la linealidad ($R < 0,990$) para el gráfico (dx/dt) vs $(1-x)$ en valores de (x) mayores que X_c

En dicho rango se calculó la pendiente, con unidades de min^{-1} . Con la pendiente se dividió por el Área fluxional y por el factor de tiempo a fin de obtener unidades de $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Donde:

$$k_{\text{esp}} = \text{pend} / (60 \cdot A_{\text{flux}}) \text{ en } \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$k = \text{pend} / 60 \text{ en } \text{s}^{-1}$$

Siendo así, los **datos finales** deben contener la siguiente información:

$m_{t=0}$ = masa a tiempo cero o inicial, en gramos (g)

$m_{t=\infty}$ = masa a tiempo infinito o final, en gramos (g)

H% = porcentaje de humedad total que absorbe la muestra, en %

t_c = tiempo en que se produce la pérdida de linealidad exigida ($R < 0,999$), en minutos

X_c = valor de la fracción de secado crítico

dm/dt en X_c = pendiente dentro de la linealidad antes de X_c , en $\text{mg} \cdot \text{min}^{-1}$

A_{flux} = es el área fluxional media de las partículas, en m^2

$A_{\text{flux esp}}$ = es el área fluxional específica, en m^2/kg

k = valor de la constante cinética de movilidad de agua a la superficie semi seca, en s^{-1}

k esp = valor de la constante cinética de movilidad de agua a la superficie semi seca, en $s^{-1} \cdot m^{-2}$

a, b, c, d y R= constantes y coeficiente de correlación del Polinomio de tercer grado que relaciona (1-x) vs $f(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$

Densidad óptica de humo, calorimetría (poder calorífico) y propagación de la llama

Posteriormente, como complemento de lo anterior y con la contribución del Laboratorio de Protección Contra Incendios (LAPCI) de la Universidad de Costa Rica, en su elaboración. Es que, se realizaron los ensayos de densidad óptica de humo y calorimetría (poder calorífico), así como la tasa de combustión horizontal y vertical de la llama. Obteniendo como finalidad información que complementa a lo que se determinó de carga de combustible en la parte baja del sector El Hacha, del Parque Nacional Guanacaste. Por tanto, se siguió el siguiente proceso de análisis de datos:

1. Densidad óptica de humo

Se trabajó desde una planilla de Microsoft Excel Office, donde se introdujeron los datos obtenidos en los ensayos (mencionado en la sección anterior). Generando así un gráfico entre tiempo (t) vs densidad (kg/m^3) de los humos generados por el espécimen analizado (Anexos, figura 4). Es importante aclarar que los datos del raspaguacal y nance se tomaron en un mismo gráfico por su similitud en los resultados del ensayo de liberación del humo.

Es así como se obtiene información sobre la densidad de humo que pueden liberar las muestras al estar sometidas a un flujo de calor. Y conocer también el tipo de humo (color, textura y forma) que los muestras liberan.

2. Calorimetría (poder calorífico)

Se determinó por medio de una bomba calorimétrica, el calor de combustión, como poder calorífico superior (condensando el agua generada en la combustión) de las especies vegetales. Los resultados obtenidos se expresan en ($\times 10^2$ kJ/100g).

3. Propagación horizontal de la llama

Para la tasa de combustión y propagación de la llama horizontal, se colocaron las muestras en una cámara de control de combustión. Determinando en cuanto tiempo (min) y a cuanta velocidad (mm/min), puede llegar a consumir el fuego el vegetal ensayado.

Obteniendo en base a estos datos, los centímetros que logra consumir el fuego a cada una de las muestras en una posición horizontal, bajo condiciones controladas (sin humedad y sin viento).

4. Propagación vertical de la llama

Para la tasa de combustión y propagación de la llama vertical, se colocaron las muestras en una cámara de control de combustión. Determinando en cuanto tiempo (min) y a cuanta velocidad (mm/min) puede llegar a consumir el fuego el vegetal ensayado.

Obteniendo en base a estos datos, los centímetros que logra consumir el fuego a cada una de las muestras en una posición vertical, bajo condiciones controladas (sin humedad y sin viento).

5. Carga de combustible:

La carga de combustible se determinó tomando en cuenta solamente al zacate. Esto porque es el individuo de las tres especies más dominantes (raspaguacal, nance, zacate) que se encuentra con mayor abundancia en ambos sitios de estudio del sector El Hacha. Es así como se toma en consideración la siguiente formula:

$$CC = PC \times CF \quad (1)$$

Donde:

CC = Carga de combustible (KJ/m²)

PC = Poder calorífico (KJ/g)

CF = Carga de fuego (kg/m²).

El valor de poder calorífico se obtiene de la calorimetría realizada para el zacate, transformando los valores a las unidades de la ecuación. Considerando las características del zacate de sabana, según Molinero y Santana (2016), para una altura promedio de 40cm, se tiene una carga de fuego a nivel global de 7 toneladas / hectárea o 700 kg / m² (Martínez, 2001).

De la anterior formula se determina la carga de combustible real por sitio, siendo entonces:

$$CCr = CC \times A\% \quad (2)$$

Donde:

CCr = Carga de combustible real (KJ/m²)

CC = Carga de Combustible (KJ/m²)

A% = Porcentaje del área total del individuo.

4. RESULTADOS

4.1 Cobertura vegetal en el sitio de estudio.

4.1.1 Densidad de cobertura vegetal de las leñosas y herbáceas gramíneas, no gramíneas y suelo desnudo en el sitio de El Amo.

- Arbustivas leñosas y su densidad:

El Amo se caracteriza por presentar tres especies leñosas de porte arbustivo, estando estas dispersas en el sitio. Ellas son: *Anarcadium occidentale* (marañón), *Byrsonima crassifolia* (nance) y la *Curatella americana* (raspaguacal).

La densidad arbustiva es de 0,0293 m² o un árbol cada 34,09 m². Mostrándose en el cuadro 1 la distribución de los individuos presentes en El Amo. Siendo en su mayoría el raspaguacal menores a los 100cm. (Lista de datos en Anexos, cuadro 1)

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: Se toman en cuenta los individuos mayores a 20 cm de altura. La tabla indica la cantidad de individuos menor o igual a la altura indicada.

La determinación del Diámetro de Altura al Pecho (DAP), se realizó solamente a 12 individuos del raspaguacal y a 1 individuo de marañón y de nance, esto según su altura y grosor de tallo principal, los cuales debían superar los 2,5 cm de ancho y ser mayores a los 120 cm de altura. En cuanto a los individuos de raspaguacal se tiene como promedio (5,8±0,6) cm de DAP, mientras los dos únicos individuos de marañón y nance tiene un 3,3 cm y 3,0 cm de DAP, respectivamente. (Lista de datos en Anexos, cuadro 2)

Se observa una relación entre DAP vs altura para el raspaguacal, con la ecuación (1):

$$\text{Altura (cm)} = 34,12 \times \text{DAP (cm)} + 123,1 \quad R^2 = 0,636 \quad (1)$$

- Herbáceas gramíneas y no gramíneas y su densidad:

Cuadro 2. Densidad de las herbáceas gramíneas, no gramíneas, suelo desnudo y roca en el sitio de El Amo expresado como porcentaje de cobertura.

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

Como se muestra en el cuadro 2, El Amo, se caracteriza por tener mayor presencia de herbáceas gramíneas obteniendo precisamente un promedio del cubrimiento de (95,42±7,3) %, con un rango entre (92 a 97) % de cobertura del área estudiada. Mientras que las herbáceas no gramíneas tienen presencia en el área de tan solo el (0,8±1,8) % de promedio, con un rango entre de (0,4 a 2,9) %. Por su parte el suelo desnudo tiene un promedio del cubrimiento de (3,4±6,8) %, con un rango entre (2,7 a 7,6) %. (Lista de datos en Anexos, cuadro 3)

4.1.2 Densidad de cobertura vegetal de las leñosas y las herbáceas gramínoideas, no gramínoideas y suelo desnudo en el sitio de la Laguna de Guayabal

- Arbustivas leñosas y su densidad:

En el sitio de la Laguna de Guayabal es importante mencionar, que el establecimiento y estudio de sus seis parcelas se realizaron luego de que el sitio presentará un incendio forestal en la salida de campo planificada en época seca. Es así que muchos de sus datos de cobertura herbácea y de suelo desnudo pueden ser algo distintos de lo esperado, en comparación de si se realizará antes de un incendio forestal.

Donde la densidad arbustiva es de 0,0247 arbustos por m² o un arbusto cada 40,54 m². Bajo condiciones post-fuego, el sitio, tal y como se muestra en el cuadro 3 se caracteriza por tener mayor presencia de individuos de raspaguacal (*Curatella americana*), menores a los 100 cm (Lista de datos en Anexos, cuadro 1)

Cuadro 3. Distribución de altura de las especies arbustivas de la Laguna de Guayabal.

Altura	Raspaguacal	Nance
10	5	
20	5	
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: Se toman en cuenta los individuos mayores a 10 cm de altura. La tabla indica la cantidad de individuos menor o igual a la altura indicada.

Al igual que el sitio El Amo, el raspaguacal es el individuo que presento mayor distribución, y mayor altura en la Laguna de Guayabal. La determinación del diámetro a la altura del pecho de los 30 individuos del raspaguacal con más de 2,5 cm de ancho, se tiene un promedio ($6\pm 0,3$) cm con un rango entre los (2,6 a 9,5) cm. En comparación del raspaguacal del sitio El Amo, donde el DAP mayor es de 9,7 cm y un promedio de ($5,8\pm 0,6$) cm. (Lista de datos en Anexos, cuadro 4). Se observa una relación entre DAP vs altura para el raspaguacal, con la ecuación (2):

$$\text{Altura (cm)} = 51,10 \times \text{DAP (cm)} + 28,29 \quad R^2 = 0,316 \quad (2)$$

Importante aclarar que ninguno individuo de Nance cuantificado obtuvo el grosor de los 2,5 cm de altura al pecho, para que se les pudiera considerar su DAP.

- Herbáceas gramíneas y no gramíneas y su densidad:

Cuadro 4. Densidad de la herbáceas gramíneas y no gramíneas, suelo desnudo y roca en el sitio de Laguna de Guayabal, expresadas como porcentaje de cobertura.

Parcela	Herbácea gramínea (%)	Herbácea no gramínea (%)	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

Como se muestra en el cuadro 4, la Laguna de Guayabal, se caracteriza por tener mayor presencia de suelo desnudo obteniendo precisamente un promedio de cubrimiento ($79,0\pm 6,1$) %, con un rango entre (70,3 a 87,8) %. Mientras que las herbáceas no gramíneas tienen un promedio de cubrimiento ($2,7\pm 0,2$) %, con un rango entre (1,0 a 5,1) % por su parte, las herbáceas gramíneas tiene un promedio de ($16,6\pm 3,5$) %, con un rango entre (9,1 a 25,0) %. (Lista de datos en Anexos, cuadro 5).

4.2 Propiedades fisicoquímicas de la vegetación dominante de la sabana natural.

Es importante aclarar que para cada individuo se realizó tres muestras para tener mayor comparabilidad y resultado en cuanto a promedio, desviación y error estándar en las tres especies vegetales más predominantes de ambos sitios de estudio.

Las propiedades fisicoquímicas se basaron en el estudio de 6 variables, siendo la primera el porcentaje de humedad relativa que poseen los individuos. Esta, se refiere a la relación de cantidad de agua que posee el vegetal y la cantidad de agua que puede retener dicho vegetal a una temperatura dada. Importante mencionar que la humedad relativa depende de la temperatura, por lo que es fluctuante.

Segundo, el X crítico muestra el momento en que los vegetales pierden la humedad superficial y empiezan a perder a menor velocidad la humedad interna de su masa. En cuanto a la velocidad en el punto X crítico, este se refiere a la rapidez con que un sólido pierde humedad superficial y por tanto masa.

El área fluxional específica, muestra el área en la cual ocurre la transferencia de masa y calor entre el sólido y el ambiente, y a su vez la rapidez con la que un sólido pierde agua. El K específico, se refiere a la pérdida de agua por unidad de masa, o sea, la cantidad de agua evaporada.

Cuadro 5. Propiedades fisicoquímicas de la vegetación predominante de la sabana del sitio El Amo.

		Nance	Raspaguacal	Zacate
Humedad relativa (%)	Muestra 1	73,48	59,96	59,14
	Muestra 2	74,23	57,44	61,01
	Muestra 3	71,97	58,12	60,06
	Promedio	73	59	60
	Desviación	1	1	1
	% Error	2%	2%	2%
X critico	Muestra 1	0,44	0,28	0,15
	Muestra 2	0,38	0,26	0,15
	Muestra 3	0,40	0,29	0,14
	Promedio	0,41	0,28	0,146
	Desviación	0,03	0,01	0,003
	% Error	7%	5%	2%

		Nance	Raspaguacal	Zacate
Tiempo critico (min)	Muestra 1	50	22,5	10
	Muestra 2	53,5	25	10
	Muestra 3	50	27,5	10
	Promedio	51	25	10
	Desviación	2	3	0
	% Error	4%	10%	0%
Velocidad en Xc [dm/dt (mg/min)]	Muestra 1	49,16	57,98	59,67
	Muestra 2	43,25	49,27	63,05
	Muestra 3	39,88	49,30	63,07
	Promedio	44	52	62
	Desviación	5	5	2
	% Error	11%	10%	3%
Área fluxional especifica (m²/kg)	Muestra 1	0,59	0,61	0,55
	Muestra 2	0,61	0,58	0,58
	Muestra 3	0,58	0,58	0,58
	Promedio	0,59	0,59	0,57
	Desviación	0,01	0,02	0,02
	% Error	2%	3%	3%
K específico (s-1 m-2)	Muestra 1	33,25	35,9	37,41
	Muestra 2	28,91	35,77	36,58
	Muestra 3	30,25	36,98	36,22
	Promedio	31	36	37
	Desviación	2	1	1
	% Error	7%	2%	2%

En el cuadro 5, se demuestra las propiedades los tres vegetales más predominantes en el sitio El Amo. En el cuadro 6, se exponen los vegetales más predominantes en el sitio de la Laguna de Guayabal. En este caso es necesario recalcar que, las especies más predominantes son el raspaguacal y el zacate. Por tanto, se presentan datos de las propiedades fisicoquímicas solo de estos individuos, excluyendo al nance, por su poca dominancia.

De igual forma se realizó tres muestras para los individuos disponibles en la Laguna de Guayabal.

Cuadro 6. Propiedades fisicoquímicas de la vegetación predominante de la sabana del sitio de la Laguna de Guayabal.

		Nance	Rapaguacal	Zacate
Humedad relativa (%)	Muestra 1	-	61,03	56,25
	Muestra 2	-	67,57	55,45
	Muestra 3	-	58,86	54,17
	Promedio	-	62	55
	Desviación	-	5	1
	% Error	-	7%	2%
X critico	Muestra 1	-	0,35	0,17
	Muestra 2	-	0,37	0,22
	Muestra 3	-	0,38	0,16
	Promedio	-	0,37	0,19
	Desviación	-	0,02	0,03
	% Error	-	5%	17%
Tiempo critico (min)	Muestra 1	-	35	11
	Muestra 2	-	40	14,5
	Muestra 3	-	35	12,5
	Promedio	-	37	13
	Desviación	-	3	2
	% Error	-	8%	14%
Velocidad en Xc [dm/dt (mg/min)]	Muestra 1	-	48,06	56,03
	Muestra 2	-	52,15	51,95
	Muestra 3	-	52,13	55,67
	Promedio	-	51	55
	Desviación	-	2	2
	% Error	-	5%	4%
Área fluxional específica (m²/kg)	Muestra 1	-	0,55	0,51
	Muestra 2	-	0,58	0,52
	Muestra 3	-	0,58	0,52
	Promedio	-	0,57	0,518
	Desviación	-	0,02	0,003
	% Error	-	3%	1%
K específico (s-1 m-2)	Muestra 1	-	34,59	37,55
	Muestra 2	-	40,40	31,20
	Muestra 3	-	39,45	36,00
	Promedio	-	38	35
	Desviación	-	3	3
	% Error	-	8%	9%

4.3 Carga de combustible presente en la sabana natural de la parte baja del sector El Hacha

4.3.1 Ensayo de densidad óptica

Cuadro 7. Densidad óptica de humo.

Individuos	Tiempo (min)	Densidad óptica (kg/m³)	Índice de oscurecimiento (humo)	Observaciones
Raspaguacal y Nance	11	587,98	259,7	No generaron flama, solo carbón
Zacate	12	565,09	200,9	

En cuadro 7 se muestran los datos obtenidos en el ensayo de densidad óptica para los tres vegetales predominantes de los sitios del sector El Hacha.

Es importante señalar, que en la mayoría de las veces cuando se presenta un incendio, no logramos observar el fuego que se está produciendo, sino, que lo que logramos apreciar 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 esta ocasión, según las apreciaciones durante los ensayos, los tipos de humos que se liberaron en las tres muestras se clasifican según se indica en Anexo, cuadros 6 y 7

4.3.2. Calorimetría (poder calorífico)

A través de la prueba de calorimetría se obtienen los valores como se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Resultados calorimétricos

Muestra	Resultado
Raspaguacal	17,2 ± 0,6 KJ/g
Nance	14,2 ± 0,5 KJ/g
Zacate	13,7 ± 0,5 KJ/g

4.3.3 Ensayo para determinar la propagación horizontal de la llama.

El cuadro 9 muestra los resultados de propagación de la llama, obtenidos de acuerdo con el tipo de muestra ensayada. Las condiciones de ensayo fueron controladas y supervisadas para las tres muestras. La información necesaria de cada vegetal para el ensayo se demuestra en el (Anexo, cuadro 8).

Cuadro 9. Resultados obtenidos según el tipo de muestra, para la propagación horizontal de la muestra.

Muestra	Características				Tiempo de combustión			Total consumido
	Peso (g)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área (m ²)	Densidad (ρ) (g/cm ³)	Llama (min)	Velocidad (mm/min)	
Raspaguacal	3,24	97	314	0,0305	106,23	0,20	275	Se consume 5,5 ± 0,1cm
Nance	3,20	97	314	0,0305	104,92	0,40	87	Se consume 3,5 ± 0,1cm
Zacate	5,76	97	314	0,0305	188,85	0,73	75	Se consume 5,5 ± 0,1cm

4.3.4 Ensayo para determinar la propagación vertical de la llama.

El cuadro 10 permite reproducir los resultados obtenidos sobre la propagación vertical de la llama, de acuerdo con el tipo de muestra ensayada. La información necesaria de cada individuo para el ensayo se demuestra en Anexo, cuadro 9.

Cuadro 10. Resultados obtenidos según el tipo de muestra, para la propagación vertical de la muestra.

Muestra	Características				Tiempo de combustión			Total consumido
	Peso (g)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área (m ²)	Densidad (ρ) (g/cm ³)	Llama (min)	Velocidad (mm/min)	
Raspaguacal	3,50	78,00	310,00	0,0242	114,63	0,41	146	Se consume 6,00 ± 0,1 cm con presencia de brasas
Nance	3,20	80,00	310,00	0,0242	132,23	0,40	150	Se consume 6,00 ± 0,1 cm con presencia de brasas
Zacate	7,34	80,00	310,00	0,0242	303,31	0,38	145	Se consume 5,5 ± 0,1 cm

4.3.5 Carga de combustible:

Considerando el poder calorífico del zacate, quién es el vegetal más predominante tanto en el sitio de la Laguna de Guayabal como en El Amo, y la carga de fuego que puede presentar estos sitios en general al tener un pasto y/o zacate de altura de 40 cm, obteniéndose entonces como carga de fuego mínima 700 kg / m² (Martínez, 2001., y Molinero y Santana, 2016).

O sea, se tiene: $13,7 \pm 0,5 \text{ KJ/g} \times 700 \text{ kg/m}^2 = 9590 \text{ KJ/m}^2$., siendo así, la carga de combustible presente en el sector El Hacha de 9590 KJ/m².

Carga de combustible real:

Carga de combustible x porcentaje del área total del zacate, para cada sitio se estima como:

El Amo:

$$9590 \times 0,954 = \mathbf{9149 \text{ kg/m}^2}$$

Laguna de Guayabal:

$$9590 \times 0,172 = \mathbf{1650 \text{ kg/m}^2} \text{ (postfuego).}$$

5. DISCUSIÓN

5.1 Densidad de cobertura vegetal en el sitio de estudio

5.1.1 Densidad de cobertura vegetal de las arbustivas y herbáceas gramínoideas, no gramínoideas y suelo desnudo en el sitio de El Amo y la Laguna de Guayabal

- Sitio El Amo

En la figura 7 se muestra la distribución de las arbustivas más dominantes del sitio El Amo.

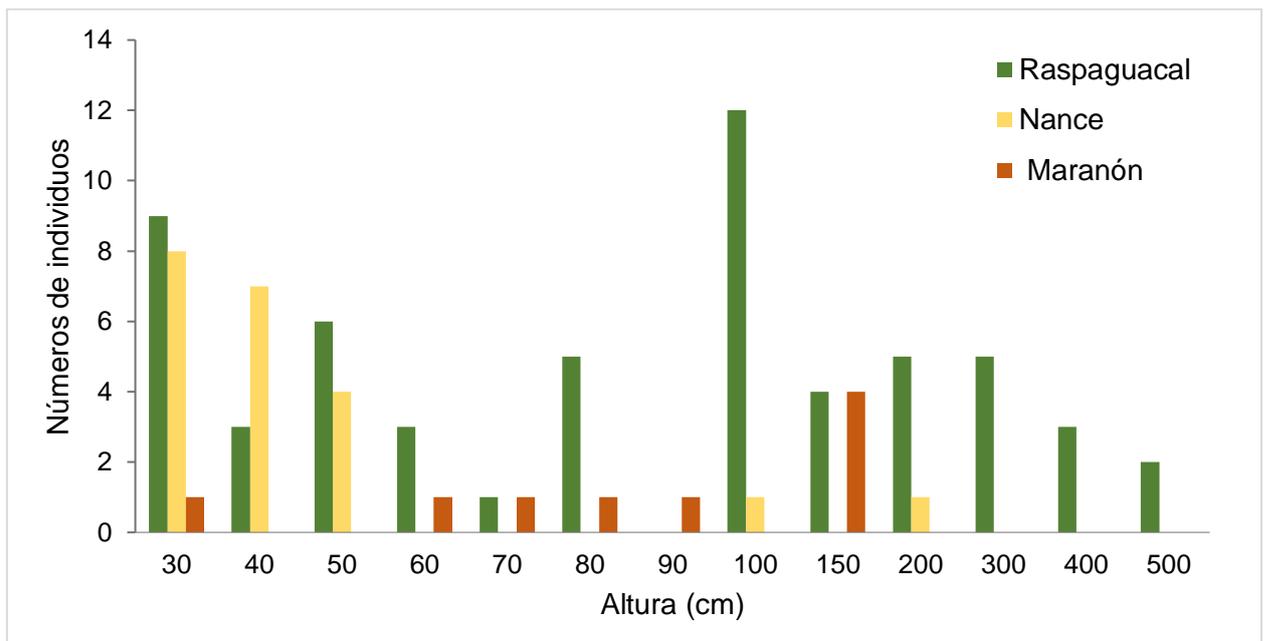


Figura 7. Distribución de las arbustivas más dominantes en el sitio de El Amo. Fuente: Elaboración propia.

En primera instancia es claro que el raspaguacal representa la mayoría de los individuos, con un 66%, seguido por el nance en un 24% y el marañón con un 10%.

El raspaguacal presenta la mayoría de sus individuos con alturas menores a 100 cm (66%), llegando el resto hasta 500 cm. Para el Amo la densidad arbustiva es de un árbol cada 34, 1 m². El nance en su mayoría son arbustos de menos de 50 cm, mientras que el marañón tiene una presencia mínima.

En cuanto a la densidad de cobertura vegetal muestra que la mayoría son herbáceas gramínoideas, con 95,4% del total del sitio estudiado y muy poco suelo desnudo con 3,4 %.

- Sitio Laguna de Guayabal

En la figura 8 se muestra la distribución de las arbustivas en el sitio de la Laguna de Guayabal. En el mismo, el raspaguacal es la arbustiva más dominante (99%). Se tiene también una distribución donde la mayoría de los individuos son menores a 100 cm (66%) Con una densidad por cada arbusto de 40,5 m².

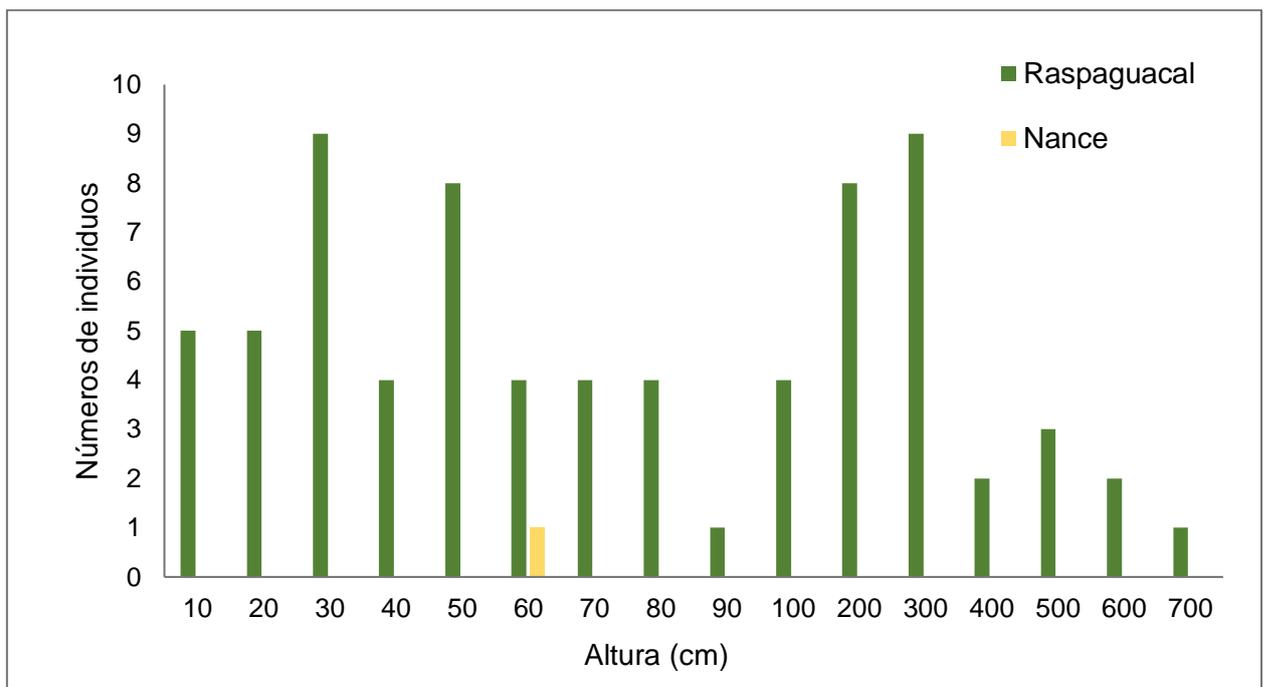


Figura 8. Distribución de las arbustivas dominantes en el sitio de la Laguna de Guayabal. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la cobertura vegetal en este sitio, es el suelo desnudo quién presenta el mayor porcentaje de cobertura con 79%, seguido de las herbáceas gramínoideas con 17%. Esto se debe a los efectos del incendio forestal previo a la evaluación.

Por lo anterior se muestra que entre ambos sitios hay una diferencia en cuanto a la cantidad de las arbustivas y su densidad. Siendo El Amo, el sitio con mayor vegetación y densidad arbustiva.

La diferencia en cuanto a la presencia de marañón y nance en ambos sitios puede deberse al tipo de suelo que presenta cada sitio. Además de que la Laguna de Guayabal se inunda en época lluviosa.

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 Guayabal.

Las tendencias generales en las relaciones de altura vs DAP son lineales, pero los coeficientes son bajos, en especial en la Laguna Guayabal.

Esto puede deberse a problemas en la medición de la altura de los arbustos.

Por tanto, la vegetación más predominante en ambos sitios son el raspaguacal y el zacate. Los cuales necesitan mayor atención y manejo para prevenir los incendios forestales y proteger los sitios (Ribeiro y Walter, 2008., Lacayo, Trujillo, Ossa, 2016., Varguez, Ortiz y Tun, 2012., Artavia, 2011., Jones, Álvarez, 2018., y Vargas, 1982).

5.2 Propiedades fisicoquímicas de la vegetación dominante de la sabana natural en los sitios de El Amo y la Laguna de Guayabal

5.2.1 Curvas de secado

- El sitio El Amo

Este sitio se caracteriza por tener al nance con una humedad relativa (HR) interna superior (73%), pero tiene un X_c crítico (X_c) que indica la pérdida de agua fácilmente, pero a una velocidad crítica (V_{crit}) baja. Mientras que el raspaguacal tiene una HR similar al zacate, pero presenta un X_c mayor que el del zacate, por lo que el raspaguacal pierde más fácilmente el agua que el zacate, pero lo hace a una velocidad más lenta.

Al final del proceso de secado inicial superficial (antes de X_c) las HR residuales se encuentran en el rango de 40 a 50% para todas las especies consideradas (nance, raspaguacal y zacate) tal y como se muestra en el cuadro 11. Por tanto, no hay una diferencia sustancial de la HR final en el secado inicial para el nance y el raspaguacal (42%), mientras que el zacate tiene algo más de HR (51%).

Cuadro 11. Valores de secado de los individuos más predominantes del sitio el Amo.

Parámetro	Nance	Raspaguacal	Zacate
Xc	0,41	0,28	0,15
Tc	51	25	10
V crit	44	52	62
HR inicial	73	59	60
HR final, etapa 1	43	42	51

Por otro lado, el área fluxional (Aflux) 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.

Es así, que ante un incendio la mayor rapidez de secado del zacate y su mayor proporción, lo hacen el elemento más propenso a contribuir al fuego.

- Laguna de Guayabal

En este sitio veremos que al relacionar el raspaguacal y el zacate con lo visto para el sitio del Amo, todas las tendencias indicadas son similares. Se aprecia, que algunos de los parámetros son algo mayores (Xc, Tc) mientras que otros resultan ligeramente menores (HR y Vcrit). Esto puede deberse a que el sitio había sufrido un incendio forestal recientemente.

Cuadro 12. Valores de secado de los de los individuos más predominantes del sitio de la Laguna de Guayabal.

Parámetro	Raspaguacal	Zacate
Xc	0,37	0,19
Tc	35	11
Vcrit	51	55
HR inicial	62	55
HR final, etapa 1	39	44

5.2.2. Propiedades de combustión

- Densidad óptica de humo

La diferencia no es tan amplia entre los vegetales. Los valores muestran que ante un incendio forestal el nance y el raspaguacal tendrían en un menor tiempo la densidad óptica máxima, con un mayor oscurecimiento de humo en comparación con el zacate.

A pesar de esto la baja densidad hace que este efecto no sea significativo, por lo cual la densidad de humos esperada es la del zacate.

- Poder calorífico

Los tres vegetales se caracterizan por generar bastante energía en ambos sitios en estudio del sector El Hacha.

Aunque el zacate sea el individuo que genera menor poder calorífico, por su mayor cubrimiento o dominancia en ambos sitios, es el que generaría en realidad la mayor energía, seguido por el raspaguacal, que como se indicó en un apartado anterior, pasa a ser la arbustiva con mayor presencia.

- Propagación horizontal y vertical de la llama
 - Propagación horizontal

El raspaguacal tiene una velocidad de llama horizontal mayor que el nance y el zacate. Estos arbustos tendrán entonces, un efecto de aumento de la intensidad del fuego. Dado que los mismos tienen baja densidad, su efecto será similar en ambos sitios, pero no significativo. Y la velocidad de avance media (sin viento) estará controlada por el zacate (75 mm/min) debido a su abundancia relativa en el caso del Amo. En el caso de Laguna de Guayabal, la baja densidad del zacate y el alto porcentaje de suelo desnudo hacen difícil la propagación de un fuego en áreas ya quemadas.

Se debe de considerar que probablemente en condiciones ambientales normales o naturales de la época seca, se presentan los vientos alisios en Guanacaste. EL cual puede presentar una velocidad alrededor de los 20 a 30 km/h (Meléndez, 2016). Aumentando la propagación de la llama en los vegetales.

- Propagación vertical

En este caso no se aprecia una diferencia significativa en la propagación vertical. Siendo está regida por los 150 mm/min.

5.3. Carga de combustible

El Amo por ser un sitio que no ha sufrido incendios recientes, se caracteriza por presentar una carga de combustible mucho mayor que en el sitio de la Laguna de Guayabal

La proporción de carga remanente en un sitio afectado por un incendio es del orden de menos del 20% de la carga de combustible estimada para un sitio sin afectación.

Además de que una menor densidad de árboles puede representar una pequeña diferencia de carga en sitios sin afectación.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los sitios en estudio del sector El Hacha, presentan como principal arbustiva, al raspaguacal, siendo en su mayoría menores a los 100cm de altura.

La cobertura vegetal en el sitio de El Amo se caracteriza por tener mayor cubrimiento de herbáceas gramíneas (zacate), mientras que la Laguna de Guayabal se caracteriza por tener en su mayoría suelo desnudo, esto por el efecto del incendio forestal.

En cuanto a las curvas de secado de los individuos más predominantes (raspaguacal, nance, zacate), indican que, aunque con distintos tiempos de secado todos llegan inicialmente a una HR (del secado inicial) similar. Esto no permite por sí mismo plantear que alguno sea especialmente influido por el proceso natural de secado.

Los individuos de raspaguacal y nance se caracterizan por tener una mayor densidad óptica de humo. Estos vegetales contribuirían a dificultar la acción y visibilidad de los Bomberos Forestales para controlar un incendio forestal en ambos sitios, por una disminución de la visibilidad. Sin embargo, la baja densidad disminuye el efecto de los mismo. Mientras que el zacate contribuiría principalmente por su abundancia.

De los tres vegetales es el raspaguacal el que posee mayor poder calorífico, o sea, es el vegetal en brindar durante un incendio forestal la mayor energía. Sin embargo, el zacate, aunque sea el de menor energía, contribuiría en forma importante, por ser el más abundante.

A nivel de propagación de la llama vertical no hay una diferencia significativa. Mientras que en la propagación horizontal el más importante es el raspaguacal, quemándose más rápido que el zacate.

EL zacate por su gran porcentaje de abundancia es quién aporta a la carga principal de fuego. Las diferencias en las cargas de fuego se deben a que la Laguna Guayabal fue afectada por el fuego previo al estudio.

6.2 Recomendaciones

Utilizar clinómetro o telemetro para evitar información inexacta en cuanto a las alturas de los individuos vegetales y errores muy grandes.

Sería interesante ver la variación de carga de fuego en un sitio antes y después de que se produzca un incendio.

Con datos a nivel post-fuego, se pueden crear otras investigaciones como lo es el impacto de incendios forestales en el sitio y su capacidad de regenerarse naturalmente (rebrotos).

Es importante incluir en futuras investigaciones relacionadas con carga de combustible en sabanas naturales, el estudio de las gramíneas *Bulbostylis paradoxa* y también el *Hyparrhenia rufa*, que son vegetales no muy dominantes en el sector El Hacha, pero que contribuyen a la carga del combustible.

BIBLIOGRAFIA

- Alberto, J. (2009). *Biogeografía y geografía ambiental: Las Sabanas*. Recuperado el 30 de junio del 2019, desde <http://hum.unne.edu.ar/academica/departamentos/dptogeog/catedras/biogeografia/sabanas.pdf>
- Alicchio, Garvey y Parker (2016). *Assessing Fire Risk at Guanacaste Conservation Area, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. p: 1-105
- Área de Conservación Guanacaste. (2018). *Programa Manejo del fuego*. Recuperado el 24 de junio desde <https://www.acguanacaste.ac.cr/proteccion/programa-de-proteccion-e-incendios>
- Arellano, S., Vega, J., Ruíz, A., Arellano, A., Álvarez, J., Vega, D., y Pérez, E. (2017). *Foto-guía de combustibles forestales de Galicia comportamiento del fuego asociado*. Santiago de Compostela, España: Tórculo Comunicación Gráfica, S. A.
- Arnaldos, J., Navalón, X., Pastor, E., Planas, E., y Zárata, L., (2004). *Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales*. Madrid, España: Mundi Prensa
- Artavia, L. (2011). Revista Geográfica de América Central. Las sabanas húmedas del sur de Costa Rica. *Una caracterización fitogeográfica*. Número Especial EGAL, 1-15.
- ASTM Standards. (2014). E662-14 Método de ensayo de densidad óptica de humo. United Estates.
- ASTM Standars. (2014). D5132-11 Standard Test Method for Horizontal Burning Rate of Polymeric Materials Used in Occupant Compartments of Motor Vehicles. United Estates.
- ASTM Standards. (2014). *D6413-08 Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)*. United Estates.
- Beerling, D., y Osborne, C. (2006). Global Change Biol. *The origin of the savanna biome*. 12: 2023–2031.
- Beard, J. (1953). *The savanna vegetation of northern Tropical America*. Ecol. Monogr. 23,149–215.
- Bond, W., y Keeley, J. (2005). *Fire as a global «herbivore: the ecology and evolution of flammable ecosystems*. Trends in Ecology and Evolution (20) 387-394

- Brown, J. (1974). *Handbook for inventorying downed woody material*. Utah, USA. USDA Forest Service. General Technical Report INT – 16. 24 p
- Calvo, A., Sánchez, A., y Portillo, C. (2013). Neotropical Seasonally Dry Forests. *Encyclopedia of Biodiversity*, 5, 488–500. doi: 10.1016/B978-0-12-384719-5.00354-3
- Chávez, Á., Xelhuantzi, J., Rubio, E., Villanueva, J., Flores, H., y De la Mora, C. (2016). Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales (245), 426-436. *Caracterización de Combustibles Forestales Mediante un Muestreo Directo en Plantaciones Forestales*, (245), 426-436.
- Cochrane, M. (2009). Tropical Fire Ecology. *Climate change, Land use and Ecosystem dynamic*. Chichester, United Kingdom: Praxis Publishing Ltd. Doi: 10.1007/978-3-540-77381-8
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. (2017). *Estrategia Regional de Manejo del Fuego para Centroamérica y República Dominicana 2015-2021*. San Salvador, El Salvador: Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD).
- Comisión Nacional Forestal. (2010). *Incendios forestales: Guía práctica para comunicadores*. Jalisco, México
- Comisión Nacional sobre Incendios Forestales. (2014). *Estrategia Nacional de Manejo Integral del Fuego en Costa Rica (2012-2021)*. San José, Costa Rica: CONIFOR-SINAC. ELIMINAR-REVISAR
- Dixon, A., Faber–Langendoen, D., Josee, C., Morrison, J., & Loucks, C. (2014). Journal of Biogeography. *Distribution mapping of world grassland types*, 41:2003–2019.
- FUEGORED. (2014). *Los incendios y el suelo*. Red Temática Nacional. Consultado el 19 de abril desde <http://fuegored.weebly.com/>
- Granja, Herrera y Villamarín. (2008). *Implementación de un sistema de entrenamiento y enseñanza experimental para los temas de termodinámica y calorimetría instrumentado con LABVIEW para el laboratorio virtual de física de la Universidad Técnica de Cotopaxi* (Tesis de grado, Licenciatura). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.
- Gómez, L., y Herrera, W. (1986). Apuntes para una biogeografía costarricense. *Vegetación y Clima de Costa Rica*. (1), 1–327.

- Hardy, C. (2005). *Forest Ecol. Manage. Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context*, 211, 73-82.
- Harmon, M., Whigham, D., Sexton, J., y Olmsted, I. (1995). *Biotropica. Descomposición and mass of woody detritus in the Dry Tropical Forests of the Northeastern Yucatan Peninsula, Mexico*, 27 (3), 305-316.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. 5a ed. México D.F, México: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Editorial IICA
- Huber, O. (1987). *Trends Ecol. Evol. Neotropical savannas: their flora and vegetation*. 2 (3), 67–71.
- Janzen, D. (1986). *Parque Nacional Guanacaste: Restauración ecológica y cultural*. Consultado el 28 de marzo del 2018 desde <http://copa.acguanacaste.ac.cr:8080/bitstream/handle/11606/452/ParqueNacionalGuanacaste1986.pdf?sequence=1>
- Jardel P., Alvarado C., Morfín R., Castillo N., y Flores G. (2009). *Regímenes de fuego en ecosistemas forestales de México*. México DF, México: Mundi Prensa. p. 73-100
- Jardel, P., y Enrique, J. (2010). *Planificación del manejo del fuego (Informe Técnico)*. Autlán, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara, Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C., Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C., Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C.
- 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 postgrado, Maestría). Universidad de Costa Rica, San José.
- Jones, G., y Álvarez, B. (2018). *Perspectivas Rurales, nueva época. Dinámica de incendios en el Área de Conservación Guanacaste 1997-2017: perspectivas ecológicas para el manejo integral del fuego*, 16(31), 51-70.
- 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
- Kellman, M. (1984). *Biotropica. Synergistic relationships between fire and low soil fertility in neotropical savannas: a hypothesis*. (16), 158–160

- Lacayo, J., Trujillo, S., Ossa, A. (2016). *Revista Colombiana de Ciencia Animal. La sabana: formación de gran valor productivo*, 8(1), 120-137.
- Lenthall, J., Bridgewater, S., y Furley, p. (1999). *Edinb. J. Bot. A phytogeographic analysis of the woody elements of New World savannas*. (56) 293–305.
- Ledesma, L., y Alarcón, J. (2016). *Anales Científicos. Diferencias entre el error estándar y desviación estándar de la disposición a pagar: aplicación del método bootstrap en la valoración contingente de un bien o servicio ambiental*. 78 (1): 11-19.
- 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*. Recuperado del 31 de octubre del 2019 desde <https://multimedia.uned.ac.cr/pem/climatologia/creditos.html>
- Ministerio de Ambiente. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación*. Lima, Perú: Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural, p. 45.
- Ministerio de Ambiente. (2015a). *Metodología de investigación de causas que provocan los incendios forestales*. Consultado el 24 de julio de http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2902/Technical/INVESTIGACION%20DE%20CAUSAS%20DE%20OCURRENCIA%20DE%20INCENDIOS%20FORESTALES.pdf
- Molinero, D., y 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- Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.
- Mondal, N., y Sukumar, R. (2016). *Plos One. Fires in seasonally dry tropical forest: Testing the varying constraints hypothesis across a regional rainfall gradient*, 11(7), 1–16. doi:10.1371/journal.pone.0159691
- Moraga, J. (2012). *Incendios forestales y su impacta sobre espacios protegidos en la cuenca del río Tempisque, Costa Rica*. Consultado el 29 de marzo del 2018 desde

http://www.geo.una.ac.cr/phocadownload/IIITaller_Zonas/D1-Incendios_Forestales_2012.pdf.

Moreno, A. (2013). *Propagación y Extinción de Incendios Forestales y Urbanos para Entornos de Entrenamiento Virtuales* (Tesis de posgrado, Doctorado). Universidad del país Vasco, Donastia-San Sebastián.

Morfin, J., Jardel, P., Alvarado, C. y Fuentes, M. (2012). *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*. Guadalajara, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal, Universidad de Guadalajara

Myers, R. (2006). *Convivir con el fuego: Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el manejo integral del fuego*. [Traducido al Español por Eva Vilarrubi]. Estados Unidos: The Nature Conservancy.

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.

Nájera, E., & Hernández, E. (2008). *Estimación de la carga de combustibles forestales en un bosque Coetáneo de la región de El Salto, Durango*. Ra Ximbai, (4) 1, 69-68.

Nájera, A. (2013). Colección bordeando el Monte. *El fuego en la naturaleza*, (2), p.p. 3-8.

OFDA. (2010). *Informe final: III Ejercicio de movilización de brigadas*. Costa Rica.

Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2007). *Manejo del Fuego: principios y acciones estratégicas. Directrices de carácter voluntario para el manejo del fuego*. Roma, Italia: FAO

Pausas, J. (2010). Investigación y Ciencia. *Fuego y evolución en el mediterráneo*. (407), 56-63.

Picado, W., y Cruz, C. (2014). Revista Historia. *El bosque seco en llamas. Estructura agraria y ecología política del fuego en Costa Rica*, (90), pp.109-142.

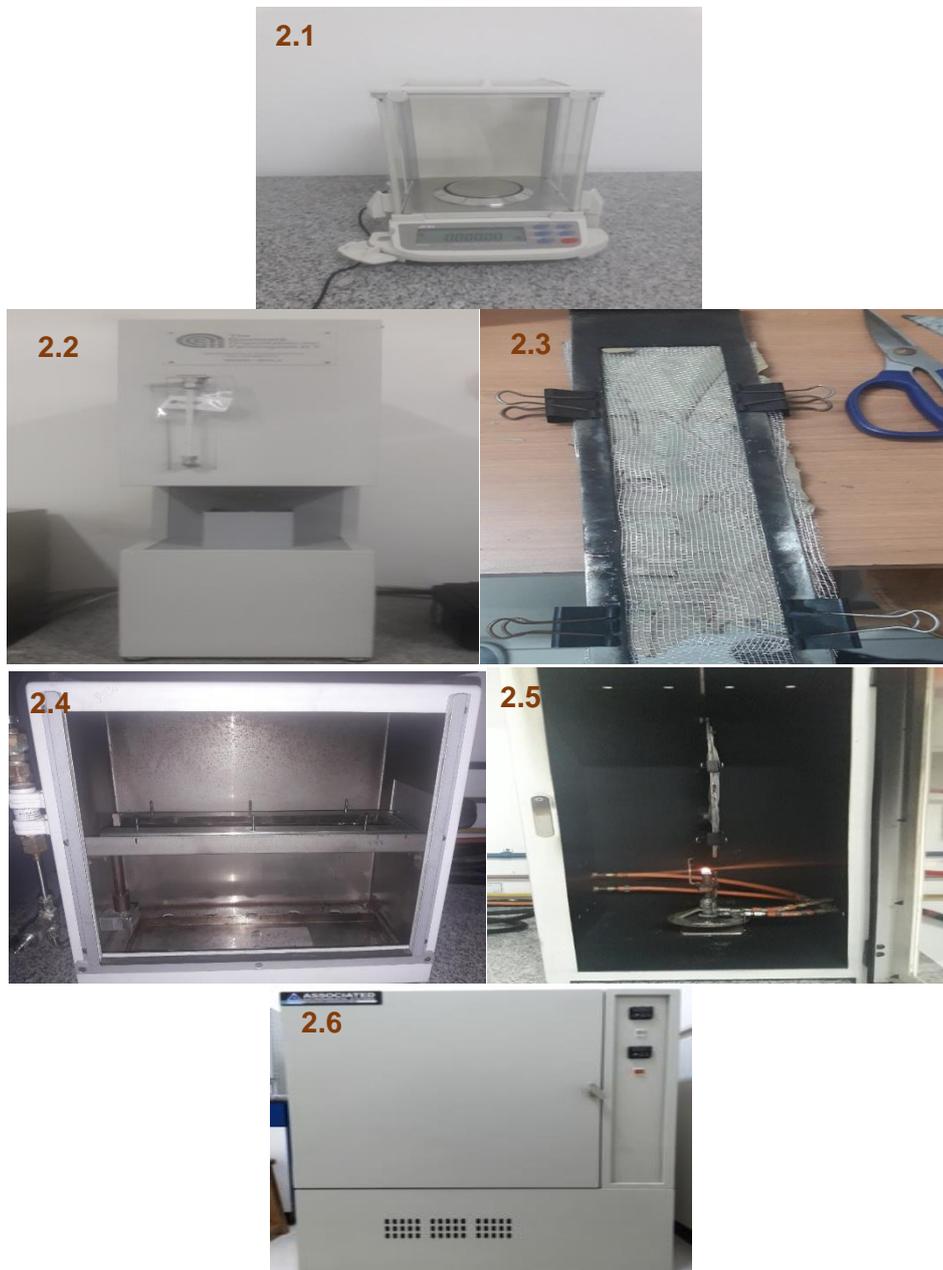
- Ratter, J., Ribeiro, J., & Bridgewater, S. (1997). *The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity*. *Ann. Bot.* 80, 223–230.
- Ribeiro, J., y Walter, B. (2008). *As principais fitofisionomias do bioma Cerrado*. Brasilia, Brasil: Informação Tecnológica. Pp. 150–211.
- Rippstein, G., Amézquita, E., Escobar, G; Grollier, C. (2001). *Condiciones Naturales de la Sabana. Cap. 1. En agroecología y biodiversidad de la sabana en los Llanos orientales de Colombia*. CIAT: Bogotá, Colombia.
- Rorhidi, A., y Herrera, R. (1977). *Génesis, características, y clasificación de los ecosistemas de sabana de Cuba*. *Ciencias Biológica* 1:115-130.
- Sánchez, C., Zerecero, L. (1983). *Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. México. Nota Divulgativa No 9 CIFONOR – INIF. 11 p.*
- Sarmiento, G. (1984). *The ecology of Neotropical savannas*. Cambridge. Massachusetts, Estados Unidos de América: Harvard University Press
- Schumacher, S., y McMillan, J. (2010). 5a ed. *Investigación educativa*. Madrid, España. Pearson Educación, S.A.
- Seiler, W., y Crutzen, P. (1980). *Clim. Change. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning*, 2 (3), 207–247.
- Soto, M., y Pompa, M. (2012). *Modelación de la carga de combustible a partir de atributos dasométricos en bosques templados del norte de México*. Consultado el 19 de marzo desde https://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr245/es/psw_gtr245_297.pdf
- The Nature Conservancy. (2004). *El fuego, los ecosistemas y la gente: Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación*. Consultado el 3 de febrero desde <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/FireLandscapes/LANDFIRE/Documents/EI%20Fuego%20los%20Ecosistemas%20%20la%20Gente.pdf>
- Ulate, R., y Ortiz, R. (2015). *Acompañamiento práctico al proyecto de investigación: Código 859*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Vargas, U. (1983). *Revista Geográfica de América Central. Origen y flora de las sabanas de la provincia de Guanacaste (Costa Rica): Un análisis de fitogeografía Histórica*. 17(18), 57-67.

- Vargas, G., & Cortés, V. (2000). *La relación suelo-vegetación en la meseta de Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica*. Rev. Geog. 128, 51–78.
- Vargas, U (2009). *Revista Geográfica de América Central. Estudio cartográfico de los cambios de los cambios de la vegetación de sabana en el Parque Nacional de Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica, 1985- 2009*.
- Vargas, D. (2016). *Dinámica del paisaje en áreas afectadas por incendios forestales en el bosque tropical seco del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica* (Tesis de Grado, Licenciatura). Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Vargas, D., y Campos, C. (2018). *Cuadernos de Investigación UNED. Modelo de vulnerabilidad ante incendios forestales para el Área de Conservación de Guanacaste, Costa Rica*, 10(2), 435-446.
- Vargas, D., y Quesada, A. (2018). *Revistas UNA Ambientales. Influencia geomorfológica en la vulnerabilidad a incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica*, 52(2), 1-15.
- Vargués, C., Ortiz, J., y Tun, J. (2012). *Bioagrocencias. Estructura y composición florística de las sabanas de Xmabén, Campeche, México*. (5)2., p. 4-12.
- Vega, M. (2015). *Fortalecimiento de la Estrategia de Control y Protección de Incendios*. San José, Costa Rica: SINAC-FONAFIFO.
- Villaroel, D., Munhoz, C., y Proenca, C. (2016). *Kempffiana. Campos y sabanas del Cerrado en Bolivia: Delimitación, síntesis terminológica, y sus características fisionómicas*, 12(1), 47-80.
- Villers, M. (2006). *Ciencias 81. Incendios forestales*. 60-61.
- Xelhuantzi, J., Flores, J., y Chávez, Á. (2011). *Revista México Ciencia Forestales. Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios*, 2(3), 38-52

ANEXOS



Anexo, figura 1. Instrumentos utilizados en el trabajo de campo y trabajo de laboratorio: 1.1) Cinta métrica, 1.2) Cinta diamétrica, 1.3) GPS, 1.4) Subparcela de 1x1 metro, 1.5) Bolsa grande plástica y papel periódico, para poner a secar el material al aire libre, 1.6) Balsas plásticas, machete y marcador, para empacar el material vegetal en el campo, 1.7) Horno de secado del LUE, 1.8) Horno casero de bombillo del LEU, 1.9) Licuadora de baso metálico del PROLAB, 1.10) Tamices del PROLAB, 1.11) Balanza del PROLAB, 1.12) Balanza de secado del PROLAB, 1.13) Balanzas de secado de Escuela de Química de la UCR, 1.14) Kitasato. Fuente: Propia



Anexo, figura 2. Instrumentos utilizados en el laboratorio del LAPCI-UCR: 2.1) Balanza, 2.2) Cámara de Poder calorífico y calorimetría, 2.3) Porta-muestra, 2.4) Cámara control de gases horizontal, 2.5) Cámara de combustión vertical, 2.6) Equipo acondicionador. Fuente: Propia



Anexo, figura 3. Sitios de estudio de la parte baja del sector El Hacha del Parque Nacional Guanacaste: A) El Amo, B) Laguna de Guayabal. Fuente: Propia.

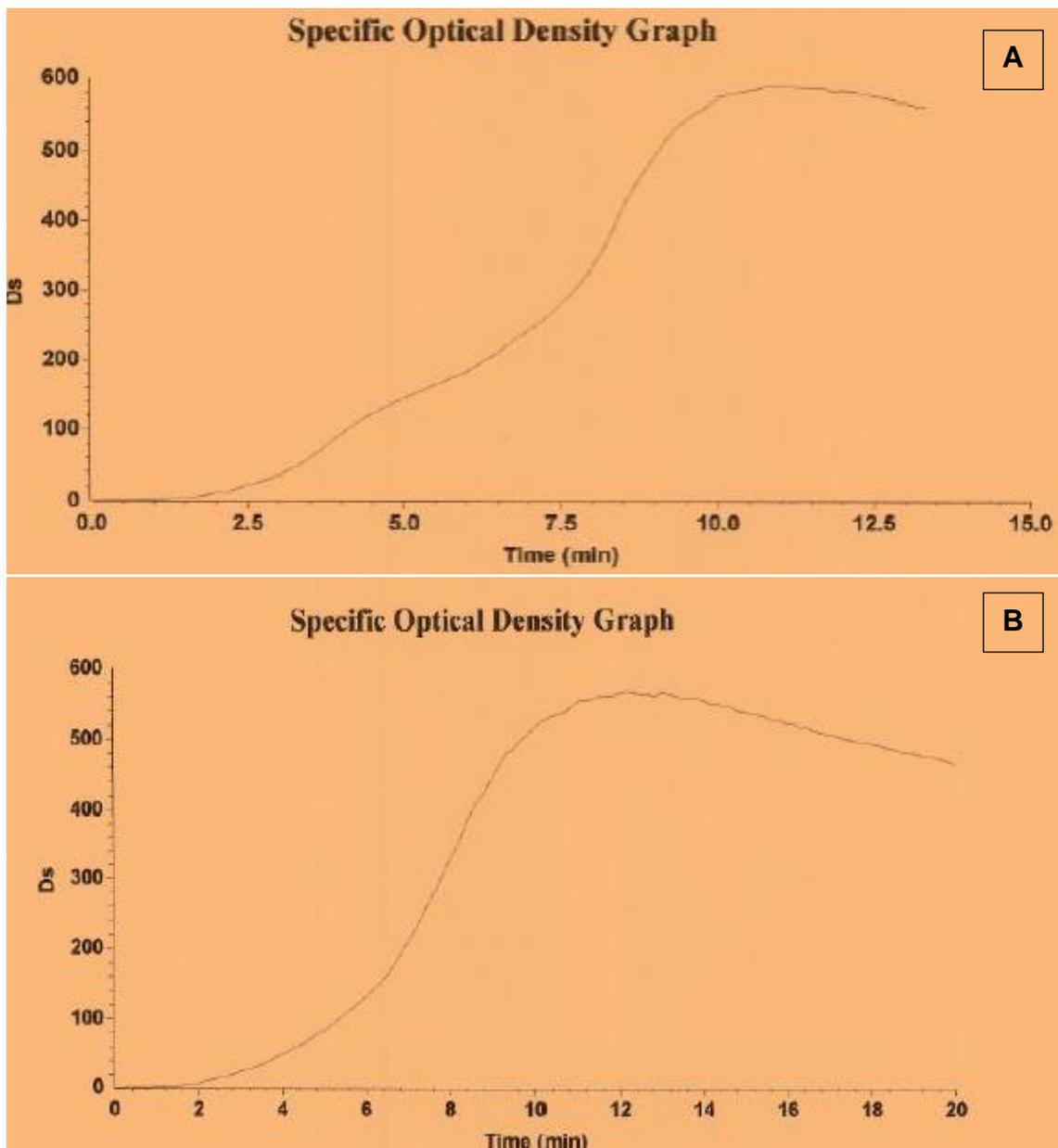


Figura 4. Densidad óptica específica en función del tiempo de las muestras A) Raspaguacal y Nance y B) Zacate. Fuente: LAPCI-UCR.

Individuo	Altura (cm)
Raspaguacal	300
Raspaguacal	400
Raspaguacal	400
Raspaguacal	400
Raspaguacal	500
Raspaguacal	500

Individuo	Altura (cm)
-----------	-------------

Anexo, cuadro 2. Lista de datos DAP vs Altura del raspaguacal en el sitio del Amo.

Individuo	DAP (cm)	Altura (cm)
Raspaguacal	3,0	180
Raspaguacal	2,7	200
Raspaguacal	2,7	200
Raspaguacal	3,5	200
Raspaguacal	3,6	300
Raspaguacal	4,3	300
Raspaguacal	5,3	400
Raspaguacal	6,2	400
Raspaguacal	6,8	300
Raspaguacal	7,5	400
Raspaguacal	8,0	300
Raspaguacal	8,5	300
Raspaguacal	9,0	500
Raspaguacal	9,7	500

Anexo, cuadro 3. Lista de datos de cobertura vegetal de herbáceas gramíneas, no gramíneas, suelo desnudo y roca, del sitio de El Amo.

Parcelas	Subparcela	(HG) (%)	(HNG) (%)	(SD) (%)	Roca (%)
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 1</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 10</i>	94,0%	6,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 2</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 3</i>	90,0%	0,0%	10,0%	0,0%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 4</i>	68,0%	0,0%	32,0%	0,0%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 6</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 7</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 8</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 9</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 5</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Promedio	95,2%	0,6%	4,2%	0,0%
	Desviación Est	10,2%	1,9%	10,3%	0,0%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 1</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 10</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 2</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 3</i>	97,0%	0,0%	3,0%	0,0%

Parcelas	Subparcela	(HG) (%)	(HNG) (%)	(SD) (%)	Roca (%)
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 4</i>	100,0%	1,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 6</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 7</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 8</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 9</i>	73,0%	2,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 2</i>	<i>Suparcela 5</i>	99,0%	1,0%	0,0%	0,0%
	Promedio	96,9%	0,4%	0,3%	0,0%
	Desviación Est	8,5%	0,7%	0,9%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 1</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 10</i>	95,0%	5,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 2</i>	99,0%	1,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 3</i>	95,0%	5,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 4</i>	96,0%	4,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 6</i>	90,0%	10,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 7</i>	99,0%	1,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 8</i>	99,0%	1,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 9</i>	99,0%	1,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 3</i>	<i>Suparcela 5</i>	99,0%	1,0%	0,0%	0,0%
	Promedio	97,1%	2,9%	0,0%	0,0%
	Desviación Est	3,1%	3,1%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 1</i>	95,0%	0,0%	5,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 10</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 2</i>	85,0%	0,0%	15,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 3</i>	98,0%	2,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 4</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 6</i>	79,0%	0,0%	21,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 7</i>	95,0%	5,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 8</i>	98,0%	2,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 9</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 4</i>	<i>Suparcela 5</i>	86,0%	0,0%	14,0%	0,0%
	Promedio	93,6%	0,9%	5,5%	0,0%
	Desviación Est	7,5%	1,7%	8,1%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Subparcela 1</i>	75,0%	0,0%	25,0%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Subparcela 10</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Subparcela 2</i>	77,0%	0,0%	23,0%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Subparcela 3</i>	90,0%	0,0%	10,0%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Subparcela 4</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Subparcela 6</i>	97,0%	0,0%	3,0%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Subparcela 7</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Subparcela 8</i>	88,0%	0,0%	12,0%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Subparcela 9</i>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Parcela 5</i>	<i>Suparcela 5</i>	97,0%	0,0%	3,0%	0,0%
	Promedio	92,4%	0,0%	7,6%	0,0%
	Desviación Est	9,7%	0,0%	9,7%	0,0%

Parcelas	Subparcela	(HG) (%)	(HNG) (%)	(SD) (%)	Roca (%)
Parcela 6	Subparcela 1	90,0%	0,0%	10,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 10	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 2	97,0%	0,0%	3,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 3	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 4	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 6	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 7	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 8	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 9	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Parcela 6	Suparcela 5	86,0%	0,0%	14,0%	0,0%
	Promedio	97,3%	0,0%	2,7%	0,0%
	Desviación Est	5%	0,0%	5%	0,0%

Anexo, cuadro 4. Lista de datos DAP vs Altura del raspaguacal en el sitio de la Laguna de Guayabal.

Individuo	DAP (cm)	Altura (cm)
Raspaguacal	2,6	165
Raspaguacal	3,0	180
Raspaguacal	3,1	170
Raspaguacal	3,5	175
Raspaguacal	4,0	270
Raspaguacal	4,5	210
Raspaguacal	4,5	250
Raspaguacal	4,7	250
Raspaguacal	4,9	300
Raspaguacal	5,5	150
Raspaguacal	5,5	310
Raspaguacal	6,0	350
Raspaguacal	6,0	500
Raspaguacal	6,0	500
Raspaguacal	6,1	180
Raspaguacal	6,3	250
Raspaguacal	7,0	230
Raspaguacal	7,0	400
Raspaguacal	7,0	400
Raspaguacal	7,4	600
Raspaguacal	7,4	600
Raspaguacal	7,4	700
Raspaguacal	7,4	700
Raspaguacal	7,5	210
Raspaguacal	7,5	300
Raspaguacal	7,5	500
Raspaguacal	8,0	300
Raspaguacal	8,0	450
Raspaguacal	8,0	450
Raspaguacal	9,5	300

Anexo, cuadro 5. Lista de datos de cobertura vegetal de herbáceas gramíneas, no gramíneas, suelo desnudo y roca, del sitio de la Laguna de Guayabal.

Parcelas	Subparcela	(HG) (%)	(HNG) (%)	(SD) (%)	Roca (%)
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 1</i>	7,0%	2,0%	91,0%	0
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 10</i>	7,0%	2,0%	91,0%	0
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 2</i>	8,0%	5,0%	79,0%	6%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 3</i>	9,0%	1,0%	90,0%	0
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 4</i>	10,0%	1,0%	84,0%	6%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 6</i>	10,0%	1,0%	88,0%	1%
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 7</i>	10,0%	1,0%	88,0%	0
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 8</i>	10,0%	1,0%	89,0%	0
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 9</i>	10,0%	1,0%	89,0%	0
<i>Parcela 1</i>	<i>Subparcela 5</i>	10,0%	1,0%	89,0%	0
	Promedio	9,1%	1,6%	87,8%	1,3%
	Desviación Est	1,3%	1,3%	3,7%	2,5%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 1</i>	10,0%	2,0%	88,0%	0
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 10</i>	10,0%	2,0%	88,0%	0
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 2</i>	10,0%	2,0%	88,0%	0
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 3</i>	10,0%	2,0%	88,0%	0
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 4</i>	10,0%	4,0%	86,0%	0
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 6</i>	10,0%	4,0%	86,0%	0
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 7</i>	10,0%	5,0%	77,0%	8%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 8</i>	10,0%	10,0%	77,0%	3%
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 9</i>	10,0%	15,0%	75,0%	0
<i>Parcela 2</i>	<i>Subparcela 5</i>	10,0%		90,0%	0
	Promedio	10,0%	5,1%	84,3%	1,1%
	Desviación Est	0,0%	4,5%	5,6%	2,6%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 1</i>	15,0%	1,0%	74,0%	10%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 10</i>	15,0%	1,0%	78,0%	6%
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 2</i>	15,0%	1,0%	81,0%	0
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 3</i>	15,0%	1,0%	83,0%	0
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 4</i>	15,0%	1,0%	83,0%	0
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 6</i>	15,0%	1,0%	84,0%	0
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 7</i>	15,0%	1,0%	84,0%	0
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 8</i>	15,0%	1,0%	84,0%	0
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 9</i>	15,0%	1,0%	84,0%	0
<i>Parcela 3</i>	<i>Subparcela 5</i>	15,0%	1,0%	84,0%	0
	Promedio	15,0%	1,0%	81,9%	1,6%
	Desviación Est	0,0%	0,0%	3,4%	3,5%
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 1</i>	15,0%	1,0%	84,0%	0
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 10</i>	15,0%	2,0%	83,0%	0
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 2</i>	15,0%	3,0%	78,0%	0
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 3</i>	15,0%	3,0%	82,0%	0
<i>Parcela 4</i>	<i>Subparcela 4</i>	15,0%	4,0%	78,0%	3%

Parcelas	Subparcela	(HG) (%)	(HNG) (%)	(SD) (%)	Roca (%)
Parcela 4	Subparcela 6	15,0%	11,0%	72,0%	0
Parcela 4	Subparcela 7	19,0%	1,0%	80,0%	0
Parcela 4	Subparcela 8	20,0%	1,0%	77,0%	2%
Parcela 4	Subparcela 9	20,0%	1,0%	79,0%	0
Parcela 4	Subparcela 5	20,0%	1,0%	79,0%	0
	Promedio	16,9%	2,8%	79,2%	0,5%
	Desviación Est	2,5%	3,1%	3,4%	1,1%
Parcela 5	Subparcela 1	20,0%	2,0%	78,0%	0
Parcela 5	Subparcela 10	20,0%	5,0%	75,0%	0
Parcela 5	Subparcela 2	23,0%	1,0%	47,0%	30%
Parcela 5	Subparcela 3	25,0%	1,0%	64,0%	10%
Parcela 5	Subparcela 4	25,0%	1,0%	69,0%	5%
Parcela 5	Subparcela 6	25,0%	1,0%	74,0%	0
Parcela 5	Subparcela 7	25,0%	1,0%	74,0%	0%
Parcela 5	Subparcela 8	25,0%	1,0%	74,0%	0
Parcela 5	Subparcela 9	25,0%	1,0%	74,0%	0
Parcela 5	Subparcela 5	25,0%	1,0%	74,0%	0
	Promedio	23,8%	1,5%	70,3%	4,5%
	Desviación Est	2,1%	1,3%	9,0%	9,6%
Parcela 6	Subparcela 1	25,0%	1,0%	74,0%	0
Parcela 6	Subparcela 10	25,0%	5,0%	60,0%	10%
Parcela 6	Subparcela 2	25,0%	0,0%	75,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 3	30,0%	1,0%	69,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 4	30,0%	1,0%	69,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 6	30,0%	0,0%	70,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 7	35,0%	2,0%	63,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 8	50,0%	0,0%	50,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 9	0,0%	10,0%	90,0%	0,0%
Parcela 6	Subparcela 5	0,0%	15,0%	85,0%	0,0%
	Promedio	25,0%	3,5%	70,5%	1,0%
	Desviación Est	15,1%	5,1%	11,6%	3,2%

Anexo, cuadro 6. Clasificación del humo liberado en muestras de Raspaguacal y Nance

Clasificación	Características del Humo
Según su color	Gris oscuro característico de afectación de matorrales grandes y arbolado
Según su textura	Denso e intenso.
Según su forma	Recta en ausencia de viento. Implica situación de inestabilidad atmosférica.

Anexo, cuadro 7. Clasificación del humo liberado en muestra de Zacate

Clasificación	Características del Humo
Según su color	Gris claro característico de afectación de matorrales de tamaño pequeño - medio.
Según su textura	Ligero. Poca cantidad de combustible, el cual se encuentra disperso
Según su forma	Recta en ausencia de viento. Implica situación de inestabilidad atmosférica.

Anexo, cuadro 8. Información de las muestras.

Fabricante		NA	NA2	NA3
Nombre de la muestra		Raspaguacal	Nance	Zacate
Espesor	mm	13	13	13
Peso	g	3,24	3,20	5,76
Color		Amarillo / Verde	Amarillo / Verde	Marrón
Composición		NE	NE	NE
Uso final		Investigación y Desarrollo	Investigación y Desarrollo	Investigación y Desarrollo

Anexo, cuadro 9. Información de las muestras.

Fabricante		NA	NA2	NA3
Nombre de la muestra		Raspaguacal	Nance	Zacate
Espesor	mm	13	13	13
Peso	g	3,50	3,20	7,34
Color		Amarillo / Verde	Amarillo / Verde	Marrón
Composición		NE	NE	NE
Uso final		Investigación y Desarrollo	Investigación y Desarrollo	Investigación y Desarrollo