

Universidad Estatal a Distancia
Vicerrectoría Académica
Escuela de Ciencias Exactas y Naturales
Programa de Manejo de Recursos Naturales

Evaluación de la composición florística del estrato herbáceo en condiciones pre y post incendio en hábitats de sabana y su respuesta al fuego en Guanacaste, Costa Rica.

Informe final de Práctica de Graduación para optar por el título de Bachiller en Manejo de Recursos Naturales

Andrés Murillo Figueroa

6-0401-0425

Sede de Puntarenas

Gabriela Jones Román

Doctorado

noviembre 2024

Dedicatoria

A mis padres, Marianella Figueroa Córdoba y Álvaro Ángel de Jesús Murillo Arias por todo el apoyo y amor incondicional que me han brindado a lo largo de este trabajo y de mis estudios en general. A mi familia por todo el soporte que me han proporcionado, especialmente a mi tía, Dinorah Figueroa Córdoba, quien siempre me alienta para que salga adelante.

Agradecimientos

Agradezco primero a dios, por darle salud a mi familia, a mí y todos los involucrados en este trabajo.

Eterno agradecimiento a mis padres por todo el apoyo que me han brindado para concretar este trabajo de la mejor manera.

Muchas gracias a mi profesora y guía de TFG, Gabriela Jones Román, por todo el esfuerzo que ha dedicado para que yo pudiera finalizar este trabajo. Muchas bendiciones para usted y su familia profe.

Muchísimas gracias a José Esteban Jiménez por ayudarme con la identificación de las especies de este trabajo, excelente profesional y persona.

Muy agradecido con Roger Blanco Segura del Programa de Investigación del Área de Conservación Guanacaste (ACG) por apoyarme y hacer posible este trabajo. Un fuerte abrazo e infinito agradecimiento a todo el personal del Programa del Fuego del ACG por toda la ayuda que me brindaron, especialmente agradecido con Didi Guadamuz Eras, quien me ofreció más que ayuda, su amistad.

Por último, pero no menos importante, un fuerte agradecimiento a Alba Quirós Moraga, por la ayuda que me proporcionó en las giras a Mico Pintado, excelente persona y amiga.

Resumen

El presente estudio se realizó en tres sitios representativos del ecosistema de sabana natural en la provincia de Guanacaste en Costa Rica. El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación de la composición florística del estrato herbáceo en el ecosistema de sabana natural en condiciones pre incendio y post incendio con el objetivo de conocer la respuesta de las plantas al paso del fuego. El estudio se llevó a cabo en dos parcelas en cada sitio, evaluando la diversidad de especies herbáceas gramínoideas y no gramínoideas (forbias). Se registró la abundancia de las especies, excepto las gramíneas, y se calculó la diversidad de especies usando el índice de Simpson y la heterogeneidad espacial con el índice de Bray-Curtis. Se investigó la floración post incendio y otros aspectos de *Bulbostylis paradoxa* en las mismas parcelas. Se identificaron 4 especies de gramíneas, 3 ciperáceas y 25 especies de hierbas no gramínoideas, estas últimas, distribuidas en 10 familias, siendo Fabaceae, Rubiaceae y Asteraceae las más numerosas. Se concluye que este patrón de muchas especies repartidas en pocas familias y géneros, con muchas familias con una sola especie, es característico de ecosistemas de sabana del Neotrópico. El dendograma muestra que hay heterogeneidad espacial en la vegetación, tanto entre los diferentes sitios de estudio en condición pre incendio, como entre las condiciones pre y post incendio. Existe alta disimilitud general entre los sitios, los agrupamientos muestran grandes diferencias entre unos sitios y mayor similitud en otros. La comparación entre las condiciones pre y post incendio resalta el impacto del fuego en la composición y modelado de comunidades vegetales, ya que los sitios post incendio son más homogéneos, probablemente debido a la presencia de plantas pioneras, que son más similares entre sí, incluso en distintos sitios. El estudio de la *Bulbostylis paradoxa*, mostró una rápida floración post incendio, evidenciando que 24 horas después ya hay desarrollo de floración, pero la apertura floral no ocurre hasta cinco días después. La floración de *Bulbostylis paradoxa* 48h post incendio fue más desarrollada y numerosa en Laguna Guayabal, con una tasa de floración del 81%, en comparación con Loma Lito, donde la floración fue menos desarrollada y numerosa, alcanzando solo el 59% de una muestra más pequeña. Esta diferencia puede ser tema de la adaptabilidad al fuego de los ejemplares en cada sitio: Laguna Guayabal se quema anualmente, mientras que en Loma Lito no ha tenido incendios en muchos años. La *B. paradoxa* es una ciperácea bien adaptada al fuego, y su rápida floración, es una de las características que le permite aprovechar el fuego a su favor. Se recomienda realizar estudios de la *B. paradoxa* con muestras más grandes para obtener resultados más exactos, también es recomendable aumentar el número de parcelas a evaluar en los estudios de la composición florística del estrato herbáceo y la heterogeneidad de la vegetación entre varios sitios con el fin de tener más representación de la vegetación que se va a estudiar.

Índices

Contenido

I. Introducción.....	9
1.1 Antecedentes	9
1.2 Planteamiento de la Situación o Problema	12
1.3 Justificación.....	14
1.4 Objetivos.	17
1.4.1 Objetivo General.	17
1.4.2 Objetivos Específicos.....	17
II. Marco teórico.....	18
2.1 Ecología del Fuego en el Ecosistema de Sabana Natural	18
2.1.1 Historia del fuego.	18
2.1.2 Afectación del fuego en el ambiente.....	19
2.1.3 Causas del fuego (cultura del fuego).	19
2.2 Características del Ecosistema de Sabana	21
2.3 Importancia del Fuego en el Ecosistema de Sabana.....	22
2.4 Ecosistemas de Sabana en Costa Rica	23
2.5 Estratos Vegetales del Ecosistema de Sabana	25
2.6 Estrato Herbáceo.....	26
2.6.1 Función del estrato herbáceo en el ecosistema de sabana.	26
2.6.2 Hierbas gramíneas o gramíneas.	27
2.6.3 Hierbas gramíneas.....	28
2.6.3.1 Ciperácea representativa del ecosistema de sabana, <i>Bulbostylis paradoxa</i>	28
2.6.3.1.1 Taxonomía de la <i>B. paradoxa</i> y su hábito de crecimiento.	28
2.6.3.1.2 Características morfológicas de la <i>Bulbostylis paradoxa</i>	29

2.6.4 Forbias o hierbas no gramínoideas.	30
2.6.5 Efectos del fuego sobre el estrato herbáceo.	31
2.6.6 Adaptaciones de hierbas al fuego.	32
2.6.7 Efectos de los regímenes de fuego en el estrato herbáceo y vegetación.	33
2.7 Cómo Afecta el Fuego la Diversidad y Abundancia de Especies Vegetales	34
2.8 Importancia de la Distribución Espacial de Especies en el Ecosistema	34
2.9 Métodos para Estudiar la Heterogeneidad Espacial de la Vegetación	35
III. Marco metodológico	36
3.1 Enfoque, Tipo y Diseño de la Investigación	36
3.2 Contexto de la Investigación	36
3.3 Técnicas, Instrumentos y Análisis de Datos	41
3.3.1 Estudio de composición florística del estrato herbáceo en condiciones pre y post incendio. ...	41
3.3.1.1 Técnicas e instrumentos.	41
3.3.1.1.1 Selección de los sitios de estudio en Guanacaste, Costa Rica.	42
3.3.1.1.2 Análisis del estrato herbáceo en condición pre incendio en los sitios de estudio	42
3.3.1.1.3 Establecimiento de parcelas y subparcelas.....	43
3.3.1.1.4 Análisis de diversidad y abundancia de especies en los sitios de estudio.....	45
3.3.1.1.5 Obtención y conservación de material vegetal para el montaje del herbario	46
3.3.1.1.6 Quemadas prescritas para evaluar la respuesta de las plantas al fuego	47
3.3.1.2 Análisis de datos.....	50
3.3.2 Heterogeneidad espacial de la vegetación del estrato herbáceo en condición pre y post incendio.	51
3.3.2.1 Técnicas e instrumentos.	51
3.3.2.2 Análisis de datos.....	52
3.3.3 Fenología de la ciperácea representativa de sabana natural <i>Bulbostylis paradoxa</i>	52
3.3.3.1 Técnicas e instrumentos.	52

3.3.3.2 Análisis de datos.....	56
IV. Resultados.....	57
4.1 Estudio de Composición Florística del Estrato Herbáceo en Condiciones Pre y Post Incendio	57
4.1.1 Especies herbáceas no gramíneas o forbias encontradas en los sitios de estudio en condición pre y post incendio.....	57
4.1.2 Identificación de las hierbas no gramíneas encontradas en los sitios de estudio y el hábito más abundante entre estas.....	61
4.1.3 Especie herbácea no gramínea más abundante en los análisis pre y post incendio en los sitios de estudio.	62
4.1.4 Diversidad de especies herbáceas calculada en base al índice de Simpson en condiciones pre y post incendio en los sitios de estudio.	64
4.1.5 Variedad de gramíneas y ciperáceas encontradas en los sitios de estudio.....	65
4.1.6 Cobertura de vegetación a nivel del suelo en condiciones pre y post incendio.	66
4.1.6.1 Variación del porcentaje de cobertura de gramínea.	66
4.1.6.2 Variación del porcentaje del área sin vegetación (suelo desnudo).	68
4.1.6.3 Variación del porcentaje de cobertura de roca.....	69
4.2 Heterogeneidad Espacial de la Vegetación del Estrato Herbáceo en Condición Pre y Post Incendio	70
4.3 Fenología de la Ciperácea Representativa de Sabana Natural <i>Bulbostylis paradoxa</i>	72
4.3.1 Características morfológicas de las partes de la <i>B. paradoxa</i>	72
4.3.2 Diámetro promedio y error estándar de la corona de hojas de las <i>B. paradoxa</i> en condición pre y post incendio en los sitios de estudio.....	77
4.3.3 Estado de la floración en 24 y 48 horas post incendio de los ejemplares de <i>B. paradoxa</i> en seguimiento y fuera de las parcelas.	80
4.3.4 Porcentaje de floración y mortalidad de la <i>Bulbostylis paradoxa</i> a las 48 horas en condición post incendio por sitio de estudio.....	86
4.3.5 Mortalidad asociada a <i>Bulbostylis paradoxa</i> en seguimiento posterior a 48 horas en condiciones post incendio en cada sitio de estudio.	87

4.3.6 Floración y mortalidad de las <i>B. paradoxa</i> en los dos transectos realizados en los alrededores de las parcelas en Laguna Guayabal luego del incendio.....	88
4.3.7 Estado de la floración de las <i>B. paradoxa</i> en seguimiento en fechas posteriores a las 48 horas post incendio en los sitios de estudio.	89
V. Discusión.....	90
5.1 Estudio de Composición Florística del Estrato Herbáceo en Condición Pre y Post Incendio.....	90
5.2 Heterogeneidad Espacial de la Vegetación del Estrato Herbáceo en Condición Pre y Post Incendio	94
5.3 Fenología de la Ciperácea Representativa de Sabana Natural <i>Bulbostylis paradoxa</i>	97
VI. Conclusiones	105
VII. Recomendaciones	107
VIII. Bibliografía	109
IX. Anexos.....	118

I. Introducción

1.1 Antecedentes

El fuego es un proceso que a lo largo del tiempo se ha estudiado por el ser humano por el impacto que este produce a su paso en los distintos sitios que este puede ocurrir. Se ha puesto especial cuidado a los efectos que este puede tener en la naturaleza sobre distintos tipos y estratos de vegetación, con el fin de tener una idea más clara de cómo actuar en el futuro y sobre los cuidados que hay que tener a la hora de abordar acciones para su manejo (Pausas y Keeley, 2009).

Podemos mencionar cinco trabajos originales que han contribuido con lo anteriormente mencionado, estudiando la ecología del fuego desde distintos puntos de vista y situaciones.

En relación al tema, Mireya Gázquez García, en el año 2022, presentó un trabajo bajo el nombre de: “Estudio sobre la regeneración de las especies vegetales tras el incendio forestal de las Cumbres Calicanto” (Gázquez, 2022), con el objetivo de estudiar la regeneración natural de la vegetación post incendio e identificar cambios en la composición florística del sitio. Se revisaron seis parcelas, dos en zonas no quemadas y cuatro en la zona quemada. Como resultados: La parcela # 1 en zona no quemada, posee 64 especies, siendo la *Salvia rosmarinus* la más numerosa, la parcela # 2 cuenta con 247 especies, en la cual la *Brachypodium retusum* es la más numerosa con 125, en la parcela #3, hay 310 especies siendo la *Stipa offneri* la más numerosa con 145, la parcela # 4 por su parte tiene 409 especies, siendo la *Sedum sediforme* la más cuantiosa. La parcela # 5 tiene 301 especies en al cual, la *Sedum sediforme* es la más numerosa, y, por último, la parcela # 6, tiene un recuento de 313 especies, siendo la *Brachypodium retusum* la más numerosa. Finalmente, el autor concluye que la vegetación de mediterráneo posee alta resiliencia contra el fuego, especialmente las hierbas y arbustos que presentan gran crecimiento y dispersión por sus adaptaciones al fuego.

Las hierbas son ciertamente una parte de la vegetación que ha sabido como enfrentar e incluso convivir con el fuego, un caso ejemplar es el de la gramínea *Bulbostylis paradoxa*, la cual es el sujeto de estudio en la investigación de Patrícia Fernanda Rosalem, presentado en el 2021 bajo el título: “Alterações morfológicas e fisiológicas na estrutura vegetativa de *Bulbostylis paradoxa* associadas ao seu rápido florescimento no pós fogo” (Rosalem, 2021), el cual tiene como objetivo analizar las características anatómicas y fisiológicas de la *B. paradoxa* que logren explicar su florecimiento post incendio. La metodología usada fue el uso de 12 parcelas de 30x30 para la recolección del material

vegetal, se colocaron en sacos de papel metidos en bolsas térmicas para su traslado al laboratorio. Las muestras se secaron en una estufa a 60 C por 72 horas y luego se molieron en un molino de cuchillas.

Los compuestos de reserva se extrajeron secuencialmente en laboratorio para luego aplicar modelos lineales generalizados y así poder analizar las diferentes respuestas considerando las cuatro partes de la planta como variables. Los resultados muestran que hay un incremento en almidón, carbohidratos y aminoácidos, pero una disminución de proteínas en las flores. Hay presencia de lignina en hojas, epidermis y en las vainas que rodean el haz vascular, por lo que le confiere alta protección, y también compuestos fenólicos en el tallo. Se encontró granos de almidón en todo el parénquima de la planta, desde las raíces hasta las hojas. El autor finalmente concluye que el fuego causa alteraciones en las reservas de *B. paradoxa*, pero su estructura anatómica permanece intacta.

Aunque la *B. paradoxa* posee características que le atribuyen gran resiliencia contra el fuego, no siempre es el mismo caso para otras especies de plantas y/o estratos de la vegetación en distintos ecosistemas.

Por lo anterior, existen estudios sobre el paso del fuego en diversos ecosistemas con el fin de comprender mejor sus efectos sobre estos y la vegetación que allí se encuentra, tal es el caso de la investigación realizada por Daniel A Cadena Zamudio y compañía en el año 2020 bajo el nombre de “Efecto de incendios en la vegetación de sotobosque y propiedades químicas de suelo de bosques templados, teniendo como objetivo evaluar la severidad de un incendio forestal y su impacto en la vegetación de sotobosque, y en las propiedades químicas del suelo” (Cadena et al, 2020). Como metodología se realizaron recorridos en campo por áreas forestales y observación directa de la vegetación local. Se seleccionaron nueve sitios en forma de círculo de 400 m² con tres sub sitios en cada uno. Para la toma de datos, se definió un área de 100 m² dividida en tres tercios, en donde se registró arbustos, hierbas y pastos con su género, nombre común, porcentaje de cobertura, altura, diámetro de copa menor y mayor. El estudio visualizó que la abundancia relativa de las especies vegetales varió en relación a la severidad del fuego, los arbustos y pastos disminuyeron y solo las herbáceas se beneficiaron en severidades intermedias. Finalmente, el autor concluye que la severidad intermedia del fuego presentó mayor abundancia de herbáceas.

El estrato herbáceo ha sido por mucho la parte de la vegetación menos estudiada por el ser humano, aún más cuando nos referimos a su relación con el fuego. El estrato herbáceo en zonas áridas está aún muy inexplorado y es necesario su estudio para su protección.

En Guanacaste de Costa Rica, existe la mayor área de bosque seco tropical del país y cuenta con muchas zonas de sabana natural. Este último, es un ecosistema árido con muchas características que le hacen poseer un tipo de flora y fauna único, sin embargo, ambos ecosistemas sufren de alta incidencia de incendios en la época seca por lo que es necesario estudiarlos para poder conservarlos (Vargas, 2011a).

Por lo antes mencionado, en el 2018, Gabriela Jones Román y Benjamín Álvarez Garay realizaron una investigación sobre los incendios bajo el título de: Dinámica de incendios en el Área de Conservación Guanacaste 1997-2017: perspectivas ecológicas para el manejo integral del fuego (Jones y Álvarez, 2018), teniendo como objetivo la dinámica de incendios del Área de Conservación Guanacaste en relación con evidencias científicas de la ecología del fuego del bosque tropical seco para su aplicación en el contexto del concepto de manejo integral del fuego. La metodología usada fue una revisión bibliográfica, registros fotográficos y recorridos de campo para el análisis de la ecología del fuego de la vegetación y fauna vertebrada. Se realizaron parcelas en dos sitios del sector El Hacha en el ACG, en donde se encontraron entre 29 y 41 especies distintas de herbáceas nativas. También se encontró la *B. paradoxa*, gramínea nativa de ecosistemas de sabana natural sujeta al accionar frecuente de incendios por su dependencia al mismo para su floración. Se evidenció que posterior a los incendios, en ambos sitios, aparecieron numerosas herbáceas que luego de tres a ocho días, rebrotaron y florecieron vigorosamente. Como dato final, los autores concluyen que la supresión del fuego en hábitats influenciados y dependientes del fuego, debería estudiarse mejor para garantizar la conservación y resiliencia de varios componentes de la biodiversidad en dicho ecosistema.

Para finalizar, otro estudio relacionado al efecto del fuego en diferentes estratos vegetativos sirve como base para poder comprender cómo afecta el fuego a los distintos tipos de vegetación, sin importar en qué lugar del mundo se da el incendio.

En el año 2004, los autores F. Pérez Cabello y P. Ibarra realizaron un estudio con el título “Procesos de regeneración vegetal en comunidades incendiadas (Prepirineo oscense)” (Pérez e Ibarra, 2004), teniendo como objetivo de caracterizar las diferencias en los procesos de regeneración de comunidades representativas de la vegetación prepirenaica. Como metodología se analizó las características fisionómicas y nuevas relaciones de dominancia que se forman entre los principales taxones de las comunidades de estudio. Para ello, se utilizaron áreas test (quemadas) y sitios de control con las mismas características físicas, en las cuales se realizaron 78 inventarios florísticos por estratos, y se realizaron análisis descriptivos de la respuesta vegetal en relación a los estratos y comunidades. Se

obtuvo que el estrato herbáceo es el de mayor desarrollo y el que posee mayor diversidad florística con 162 especies. Se evidenció también que el estrato herbáceo es uno de los que mayormente definen la estructura para los sectores quemados y de control. Tras las nuevas condiciones que se generan de un incendio, se da un crecimiento precipitado de varias herbáceas perennes que logran maximizar la obtención de nutrientes y colonizar, lo que evitan el crecimiento de plántulas de arbustos y árboles. En conclusión, se evidencia las diferencias entre las comunidades vegetales respecto a sus formas de restablecimiento, donde se ve un desarrollo desproporcionado de estratos inferiores respecto a los superiores.

1.2 Planteamiento de la Situación o Problema

El ecosistema de sabana se caracteriza por ser dinámico, modifica continuamente su fisionomía, su composición florística y los procesos ecológicos que ahí se realizan. Este dinamismo surgió de la acción de diferentes alteraciones o disturbios que pudieron ser naturales o antrópicos. Se puede citar como disturbios naturales los periodos largos de sequía o la erosión del suelo por fuertes vientos, pero los disturbios que dominan sobre el dinamismo de este ecosistema son los culturales o antrópicos provocados por el ser humano, específicamente mediante la acción del fuego (Vargas, 2011a).

En Costa Rica, bajo la Ley Forestal 7575, se declara de interés público todo accionar que permita la prevención y supresión de los incendios forestales. En 1988 se crea el Programa de Manejo del Fuego bajo la jurisdicción del Área de Conservación Guanacaste (ACG), este programa busca prevenir y controlar y “liquidar” los incendios forestales dentro del ACG con el objetivo de favorecer los procesos naturales de regeneración del bosque tropical seco (SINAC, 2012).

Este programa de Manejo del Fuego ha sido una herramienta muy importante para la protección y restauración del bosque seco tropical y se ha concebido como una de las políticas conservacionistas más importantes en el tema de protección y conservación ambiental (Jones y Álvarez, 2018).

Dicho lo anterior, aunque esta forma de abordar el fuego es necesaria y fundamental para la conservación del ambiente, puede también darle de forma generalizada una mala imagen a las personas de que el fuego es únicamente un proceso que trae destrucción a los ecosistemas, y esto no es así. Sobre esto, Myers (2006), menciona que el fuego se ha percibido por las personas como un proceso nocivo que amenaza a las comunidades y a los recursos naturales, esto incentivó la creación de programas de supresión de incendios como el mencionado anteriormente, con el fin de proteger a ambos, personas y los recursos naturales. Aunque importante para los ecosistemas, la supresión constante del fuego ha

hecho que poco a poco olvidemos también la importancia del fuego como un proceso necesario e importante para la formación y el mantenimiento de otros ecosistemas. El resultado de estas acciones es una vegetación cambiada, que provee combustible a incendios más intensos y dañinos que provocan muchas veces la pérdida de especies vegetales que se habían adaptado y prosperado en paisajes abiertos con incendios frecuentes, pero de menor intensidad.

Es por lo anterior que debemos reflexionar acerca del impacto del fuego y su papel en los ecosistemas. Aunque es cierto que hay muchos ecosistemas que sufren más por esta perturbación, también es cierto que ecosistemas como el de sabana aparentemente necesitan de éste para su mantenimiento y funcionalidad.

El fuego funciona como un proceso selectivo incidiendo en organismos individuales, ya sea directamente impidiendo su continuidad en el ciclo del ecosistema o indirectamente alterando las condiciones del hábitat (Cochrane, 2009). Sin embargo, es importante notar como el fuego actúa como un factor que provee de estabilidad al ecosistema de sabana, modelándole de tal forma que previene la formación del bosque y le da continuidad a este ecosistema (Jiménez, 2016).

Debido a la acción del fuego, las plantas del ecosistema de sabana, han logrado adaptarse y han desarrollado características anatómicas que les permiten resistir en estos ambientes bajo continuo estrés. Aun así, la interferencia humana indudablemente ha generado que los incendios sean más recurrentes en estos ecosistemas, lo que ha generado problemáticas como cambios en la vegetación (Pausas y Keeley, 2019).

La diversidad y riqueza que aporta el estrato herbáceo a la comunidad biológica de un ecosistema es de suma importancia, generando alimento y refugio para diversos organismos que allí se encuentran. Acerca de lo anterior, Manzanilla et al (2020) explica que, para determinar la riqueza de un ecosistema, es importante realizar estudios de composición florística, este tipo de estudio describe las familias, géneros y especies en un determinado lugar a la hora de realizar un inventario. La importancia que tiene este tipo de estudio radica en que sirve como una herramienta para generar una línea base de conocimiento respecto a la composición florística de este hábitat que servirá a su vez como soporte para la planificación, manejo y conservación del ecosistema de sabana. El estudio del estrato herbáceo de este ecosistema en condiciones pre y post incendio, nos permitirá comprender la dinámica de estas plantas en relación al fuego y el impacto sobre estas, además, permitirá propiciar un espacio para reflexionar sobre su manejo y conservación.

A pesar de la importancia ecosistémica que representa la vegetación de los ecosistemas de sabana, y la necesidad que existe de poseer mayor información de estos sitios que sirva para su conservación, la variabilidad espacio-temporal que caracterizan a las especies vegetales que allí se encuentran dificulta en cierta medida su seguimiento e investigación y, por ende, su conservación (Gonzalo et al, 2021).

Por otra parte, Artavia y Ávalos (2020) indican que el ecosistema de sabana ha sido poco estudiado en Costa Rica, aunque se han hecho algunas investigaciones, ninguna de ellas ha realizado un análisis profundo. Los autores mencionan que la falta de interés por estudiar este ecosistema podría deberse a su origen antrópico como resultado de la constante intervención del ser humano aproximadamente desde los últimos cuatro mil años. Sin embargo, lo anterior es debatible, puesto que el origen de las sabanas de Costa Rica, si es antrópica o natural continúa hasta el día de hoy, siendo un tema controversial.

Los cambios globales que ocurren en la actualidad debido al calentamiento global han producido diferentes efectos en los ecosistemas, los cambios en la temperatura y concentraciones de dióxido de carbono son solo uno de los impulsores que han provocado diferencias en los regímenes de fuego. Aunado a lo anterior e incluso con mayor impacto, está la acción antrópica sobre los ecosistemas que ha exacerbado aún más los cambios en regímenes de incendios. Es por ello, que ahora más que nunca es importante realizar este tipo de estudios que nos permita obtener información valiosa que pueda servir como base para el manejo y conservación de los ecosistemas y en particular el de sabana, el cual posee cualidades ecosistémicas de gran importancia (Pausas y Keeley, 2021).

Conociendo como el fuego juega un rol importante en el ecosistema de sabana, especialmente sobre su vegetación, nos lleva a plantearnos la pregunta que sirve de base para impulsar la investigación de este trabajo: ¿Cómo es la composición florística del estrato herbáceo y cuál es su respuesta en condiciones post incendio en hábitats de sabana natural en Guanacaste?

1.3 Justificación

El ecosistema de sabana es una comunidad vegetal de gran importancia que debería recibir más atención para asegurar su buen manejo y conservación. Uno de los componentes más importantes que posee este ecosistema es su vegetación herbácea, siendo ésta muy diferente a la de otros ecosistemas, y a su vez que aporta muchos servicios ecológicos. El estrato herbáceo del ecosistema de sabana, ecológicamente hablando, se puede clasificar en hierbas gramíneas (pastizales) y no graminoides

(hierbas de hoja ancha), las cuales se les considera un grupo funcional de plantas, ya que tienden a tener efectos similares en el ecosistema donde se encuentran y responden de manera similar a las condiciones ambientales (Hanulla et al, 2019).

Este grupo de plantas proveen grandes servicios ecosistémicos que impactan no solo al buen funcionamiento de las sabanas, sino también para el planeta entero. Si analizamos las gramíneas, su importancia se ha notado solamente como forraje para el pastoreo, sin embargo, estas hierbas cumplen roles de gran importancia como la estabilización de la tierra gracias a su sistema radical, almacenamiento de carbono, generación de oxígeno y, provisión de alimento, refugio y materiales a muchos seres vivos (López et al, 2022).

Las hierbas no gramíneas por su parte, debido a su gran variedad, constituyen gran parte de la riqueza vegetal de las sabanas. Al ser parte del estrato herbáceo, estas contribuyen al depósito de carbón al suelo y en la acumulación de materia orgánica en la tierra (Siebert y Dreber, 2019).

Zhou (2023) explica que las sabanas tropicales, como las que hay en Costa Rica, son ecosistemas propensos a incendios. En el ecosistema de sabana, los fuegos recurrentes son más bien una característica única que le identifica y diferencia de otros ecosistemas tropicales.

Jiménez (2016) expone que el ecosistema de sabana ha sido poco estudiado si lo comparamos con estudios realizados en la vegetación boscosa de otros ecosistemas del país e incluso con las sabanas de otros países. Jiménez también menciona que está el hecho de que estudios tan importantes como los de composición florística son muy pocos, habiendo solo un inventario florístico de una porción pequeña de terreno de la gran sabana de la Meseta de Ignimbritas en el cantón de Liberia.

Aunado a lo anterior, también está el hecho de que estudios importantes sobre conservación biológica en Costa Rica, como la “Lista Roja de Ecosistemas Terrestres de Costa Rica” (Herrera et al, 2015) y el “Sexto Informe Nacional de Costa Rica ante el Convenio de Diversidad Biológica” (MINAE et al, 2018), no han tomado en cuenta el ecosistema de sabana en sus evaluaciones, esto probablemente porque ignoran su importancia.

Conociendo esta situación, aunque hay investigaciones referentes al ecosistema de sabana en Costa Rica, muy pocas se concentran en el estrato herbáceo y particularmente su respuesta en condiciones post incendio teniendo en cuenta la importancia de este estrato para el ecosistema. El estrato herbáceo está compuesto de muchas especies con potencial pionero que son resistentes a las duras condiciones medioambientales del ecosistema de sabana y a condiciones post incendio (Rodríguez

et al, 2021). Tal como lo indica Jones y Álvarez (2018), es importante identificar aquellas especies vegetales con adaptabilidad y resiliencia al fuego que puedan ser usadas en programas de manejo y restauración por parte de las entidades competentes.

El Manejo Integral de Ecosistemas es la línea de investigación que se relaciona al tema de estudio de este trabajo. Los Ecosistemas proveen de gran variedad de beneficios al mundo y a nosotros mismos, estos beneficios se conocen como servicios ecosistémicos, que son bienes materiales y servicios que el ecosistema produce y se puede aprovechar ya sea de forma directa o indirecta.

Muchos de estos servicios no podrían obtenerse de otra forma de no ser por la dinámica y procesos existentes en los ecosistemas. Los ecosistemas muchas veces se ven degradados por acciones naturales o antrópicas, esta última debido al accionar del ser humano. La vida de los humanos es dependiente de la naturaleza y de los beneficios que obtenemos de ella, si deseamos continuar recibiendo estos beneficios, debemos esforzarnos todos en manejar adecuadamente los recursos naturales y conservarlos (Alianza por la Resiliencia Guatemala, 2014).

Es aquí donde entra el papel del manejo integral de ecosistemas, significa tomar acciones para protegerlos y conservarlos, y la obtención de información de un ecosistema por medio de su estudio es una forma de hacerlo. El presente trabajo tiene como objetivo contribuir a la obtención de esa información y conocimiento que permita ayudar al manejo y conservación del ecosistema de sabana, todo esto, mediante un estudio de composición florística del estrato herbáceo en condiciones pre y post incendio, ya que se tiene en cuenta al fuego como un proceso fundamental que caracteriza al ecosistema de sabana.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar la composición florística del estrato herbáceo en condiciones pre y post incendio en hábitats de sabana natural y su respuesta al fuego.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Estudiar la vegetación del estrato herbáceo mediante un estudio de composición florística en condiciones pre y post incendio para conocer la diversidad y abundancia de especies en el área de estudio.
- Determinar la heterogeneidad espacial de la vegetación del estrato herbáceo en condición pre y post incendio haciendo uso de datos de presencia/ausencia y abundancia de las especies en los sitios de estudio para comprender la distribución de las especies.
- Analizar la fenología de la ciperácea representativa de sabana natural *Bulbostylis paradoxa* con el fin de conocer su respuesta al paso del fuego.

II. Marco teórico

2.1 Ecología del Fuego en el Ecosistema de Sabana Natural

2.1.1 Historia del fuego.

Según Scott (2000), las plantas invadieron la tierra en el Silúrico tardío, sin embargo, estas inicialmente se encontraban muy restringidas en su distribución. Fue a través del periodo Devónico, que las plantas colonizaron la tierra en un rango mayor de distribución, donde probablemente, a mediados o finales de este periodo, se generó suficiente combustible disponible para el desarrollo de grandes incendios. Un evento clave de estos tiempos fue la evolución de los árboles. Algunas formas de vida vegetales con forma de árbol existieron a mediados del periodo Devónico, pero no fue hasta finales del mismo, que se extendieron vigorosamente.

El origen del fuego está íntimamente ligado con el origen de las plantas, las cuales conforman dos de los tres elementos esenciales para que se produzca fuego: oxígeno y combustible. El tercer elemento corresponde a la fuente de calor, la cual, en estos tiempos tan tempranos, correspondían a la misma historia del planeta, principalmente de descargas eléctricas, y aunque menos frecuente, también de volcanes, chispas generadas por el impacto de rocas al caer e incluso de meteoritos (Pausas y Keeley, 2009). Con el paso del tiempo, el ser humano descubrió la utilidad del fuego y lo utilizó como una herramienta para gestionar los territorios de asentamiento. El uso del fuego por parte del ser humano fue registrado por distintas sociedades humanas a lo largo de los años, estos registros datan de aproximadamente 1.5 millones de años, donde se valida que el fuego fue una de las primeras tecnologías que el ser humano aprendió a usar efectivamente y que le permitió colonizar nuevas tierras (Meza y Armenteras, 2023).

En la actualidad, el fuego sigue siendo utilizado por el ser humano para muchas actividades, entre estas, una muy utilizada por las comunidades es la de despejar o limpiar terrenos. Como se mencionó anteriormente, es una de las formas de uso del fuego más antiguas que hasta el día de hoy, sigue siendo muy popular y es utilizada especialmente en poblaciones rurales por campesinos. El fuego se ha visto como un proceso de gran importancia para el ser humano por sus diversas utilidades, sin embargo, también es la fuente principal de grandes eventos perjudiciales como lo son los incendios forestales.

Los incendios forestales ocurren cuando se produce la combustión de la vegetación presente en un determinado espacio de tierra por la presencia de fuego originado ya sea por causas naturales o antropogénicas. Un incendio forestal se caracteriza por ser una propagación de fuego sin control sobre la vegetación de un terreno, donde puede abarcar varios estratos vegetales, especialmente estratos superiores como bosques. La palabra incendio a menudo se utiliza para hacer referencia de forma indistinta al fuego y viceversa, sin embargo, el fuego es un elemento como tal y el incendio es un evento o expresión del mismo, también hay que tener en cuenta el tipo de combustible generalmente permite diferenciar los fuegos/incendios forestales de incendios urbanos, rurales o de tipo agrícola, este último, cuando solo afecta campos de cultivo. De igual manera, la palabra “quemadas” se utiliza para hacer referencia al fuego que quema un área determinada de forma controlada, que bien podrían ser forestales, de pastos o agrícolas (Plana et al, 2016).

2.1.2 Afectación del fuego en el ambiente.

El fuego ha provocado grandes afectaciones ambientales a nivel mundial. Los incendios forestales se consideran como una de las principales amenazas para la biodiversidad de Costa Rica, así como también para el recurso suelo, salud humana, disponibilidad, calidad y cantidad de agua, y además producen efectos nocivos socioeconómicos al liberar dióxido de carbono (CO₂) y otros gases que afectan y producen el efecto invernadero y el cambio climático. Según estudios de la FAO, cada año se queman aproximadamente 9200 millones de toneladas de biomasa, las cuales liberan toneladas de CO₂ a la atmósfera que exacerban al efecto invernadero y propician el cambio climático (CONIFOR, 2014).

2.1.3 Causas del fuego (cultura del fuego).

Los incendios en Costa Rica se efectúan especialmente durante la época seca o de menos precipitación que comprende los meses de enero a mayo de cada año, teniendo cambios de ocurrencia dependiendo del comportamiento del clima. En los últimos años, Costa Rica ha sufrido de una recurrencia elevada de incendios, principalmente en Áreas de Conservación como los Parques Nacionales de Guanacaste y Santa Rosa por mencionar algunos. También se ha evidenciado una alta recurrencia de incendios en zonas costeras con colindancia al desarrollo turístico, de igual forma en áreas de bosques secundarios en regeneración, esto último principalmente en Guanacaste (CONIFOR, 2014).

Según datos del Área de Conservación Guanacaste (ACG), Espinoza (2023) evidencia que respecto a la temporada de incendios 2023 que se afectaron un total de 451 hectáreas en 28 incendios forestales, de este total de hectáreas quemadas, 178 hectáreas corresponden a ocho incendios generados en terrenos

privados colindantes a los Parques Nacionales Guanacaste y Santa Rosa. En total, se quemaron 640 hectáreas de terrenos por medio de 36 incendios, siendo el de Laguna Juanilama el de mayor afectación con 200 hectáreas de terreno quemado (Ver Anexo 1 y 2).

Para que se efectúe un incendio, Plana et al (2016) explica que tiene que haber una causa que de origen al fuego. Cuando hablamos de origen del fuego, este se puede clasificar en varios orígenes: causa accidental, intencionada, negligente, natural y desconocida. Esta clasificación es un tema de suma importancia en relación al fuego puesto que permite dirimir responsabilidades si el caso lo requiere o incluso crear políticas preventivas y de control para combatir la problemática según sea el caso.

El ACG, que comprende los Parques Nacionales Guanacaste y Santa Rosa, son unas de las zonas del país más propensas a incendios por sus grandes extensiones de bosques y pastizales. Según Jones y Álvarez (2018), en los años 1997, 2001, 2007 y 2013 se afectó la mayor cantidad de superficie con más de 2000 hectáreas quemadas.

Esta está dividida por sectores para su mejor manejo y conservación, entre estos sectores, algunos de ellos poseen una recurrencia de incendios mayor a los demás, estos sectores son El Hacha, Murciélagos y Santa Elena. Estos sectores tienen una característica en común, son zonas cercanas a carreteras secundarias o pueblos en los cuales se crean quemas por parte de las personas en sus terrenos y al final, se extienden y se convierten en incendios. La época seca en el ACG corresponde a un escenario árido el cual se encuentra cargado de biomasa que sirve como combustible vegetal listo para arder con cualquier causa de origen por insignificante que sea. La mayoría de los incendios que ocurren en Guanacaste, ocurren en las periferias de las áreas protegidas, ya que es común que, en la época seca, los poblados cercanos practiquen actividades relacionadas con el fuego como la quema de hojas en su patio, preparación de terrenos para cultivo o el simple hecho de limpiar un terreno de charral o bosque en sucesión temprana haciendo uso del fuego para realizarlo rápidamente, sin embargo, estas actividades muchas veces se dejan desatendidas y se salen de control provocando incendios que luego ingresan en las áreas protegidas (Jones y Álvarez, 2018).

Según lo anteriormente mencionado, los incendios forestales provocados por las quemas en los patios de los hogares no es la mayor causa que provoca incendios, según Espinoza (2023), la cacería ilegal que se realiza en los terrenos del ACG son la causa principal de incendios por diferencia, en segunda posición se encuentra actos de vandalismo y en tercer puesto, la quema de pastos en patios de casas como se mencionó anteriormente (Ver Anexo 3).

Todo lo anterior finalmente provoca serios daños a su paso y dejan únicamente una concepción negativa del fuego en las personas. Debido a esta situación, se crearon los cuerpos especializados de bomberos forestales bajo el nombre de Programa de Manejo del Fuego (SINAC, 2012). Esta brigada especial nace de las políticas conservacionistas para la protección y restauración del bosque tropical seco en el ACG, sin embargo, a pesar de los esfuerzos, los incendios continúan y son considerados como una de las afectaciones que más daño causan a este y otros ecosistemas del mundo, siendo responsable de la heterogeneidad de hábitats (Jones y Álvarez, 2018).

Aún dicho esto, es importante evidenciar que el fuego es una perturbación que afecta en gran medida la biodiversidad de ecosistemas como el Bosque seco tropical, pero también está el hecho de que el fuego forma parte fundamente de otros ecosistemas como el de sabana, donde el fuego parece formar parte fundamente en el buen funcionamiento del ecosistema y de las especies vegetales que allí se encuentran (Bernardino et al, 2021).

2.2 Características del Ecosistema de Sabana

Entre las interacciones que tienen los seres vivos con el medio físico para la formación de un ecosistema, existe una muy particular en referencia al fuego que ha dado como resultado un ecosistema muy singular, el de sabana. Este ecosistema posee una fuerte relación con el fuego desde hace mucho tiempo y es por esta interacción entre el fuego y las plantas de este ecosistema que ha dado como resultado la creación de ecosistema muy especial, con una vegetación muy singular que responde al fuego de forma distinta a la vegetación de otros ecosistemas, convirtiendo el ecosistema de sabana en uno de los más enigmáticos e interesantes.

Según lo anterior, Artavia (2011) menciona que el ecosistema de sabana está definido en cierta forma por un tipo de vegetación en donde domina el estrato herbáceo en el cual, las gramíneas o pastos conforman en el paisaje un estrato uniforme de pastos con algunas discontinuidades que son básicamente la presencia de árboles y arbustos dispersos que presentan distintas densidades. Este ecosistema se ve fuertemente influenciado por la estacionalidad climática, especialmente la vegetación posee patrones de crecimiento que se rigen conforme al clima.

Es importante tener en cuenta la naturaleza o el origen de un ecosistema de sabana a la hora de su abordaje, este ecosistema puede ser natural o de origen antrópico según criterios que muchas veces varían de persona a persona. Este es un tema caliente puesto que hay mucho debate acerca de verdadero origen del ecosistema de sabana y como identificarlos, Vargas (2009) citado en Jiménez (2016)

expone que las sabanas de Costa Rica son antrópicas debido a la presencia y dominio de pastos exóticos introducidos como el *Hyparrhenia rufa* conocido como zacate Jaraguá, sin embargo, Gómez (1986) también citado en Jiménez (2016) refuta lo expuesto por Vargas al mencionar que las sabanas de Costa Rica son naturales porque el estrato herbáceo está dominado por gramíneas nativas que también se encuentran en otras sabanas neotropicales, este autor explica que el origen de las sabanas de Costa Rica responde a factores edáficos, geológicos y climáticos que permiten y mantienen la estructura de este ecosistema dominado por un estrato herbáceo.

Queda claro que no es fácil distinguir entre sabanas naturales y antropogénicas. Según Vargas (2011a), las sabanas antropogénicas surgen de la interacción entre actividades humanas y factores naturales. En Guanacaste, donde se desarrolla este trabajo, la creación de haciendas ganaderas llevó a la instalación de grandes extensiones de pastos para el ganado, facilitando la expansión de la sabana, junto con incendios antropogénicos y factores climáticos y edáficos. Estas sabanas no son naturales y suelen estar invadidas por pastos exóticos como *Hyparrhenia rufa*.

Es importante mencionar, que no se encontró en ninguno de los sitios de estudio la gramínea *Hyparrhenia rufa*, lo que, según Elizondo y Jiménez (1987), indica que no hay perturbación antrópica. De igual manera, los sitios analizados no presentan actividades ganaderas; la única perturbación es la recurrencia de incendios. Loma Lito no ha tenido incendios recientes en muchos años, según el ACG (Didi. Guadamuz, comunicación personal, 5 de febrero de 2024). Laguna Guayabal por su parte, tiene incendios recurrentes, con quemas anuales confirmadas, como el incendio del 19 de abril de 2024, que ocurrió tras la quema de parcelas el 21 de marzo del mismo año. En Mico Pintado, también se reportan incendios recurrentes al menos una vez al año (Murillo, 2024).

2.3 Importancia del Fuego en el Ecosistema de Sabana

Como se mencionó anteriormente, el fuego forma parte de este ecosistema y es muy recurrente debido a su origen antrópico. Bernardino et al (2021) explica lo que significa realmente el fuego para este ecosistema y, por ende, su importancia. El clima es un ente regulador en la distribución de ecosistemas a nivel global, sin embargo, este no es suficiente para explicar cómo se dan las distribuciones de paisajes en muchas regiones. Lo anterior, es el caso para el ecosistema de sabana y el bosque, dos de los biomas más extensos del planeta, en los cuales, los recursos disponibles, el clima y perturbaciones como el fuego, se relacionan de manera muy singular para lograr una distribución particular de la vegetación.

Los mecanismos que trabajan y hacen que lo anterior funciones aún son poco comprendidos y demuestra lo singular del caso. Las sabanas son ecosistemas particulares dominados por pastos que sirven como combustible para que se propicien fuegos recurrentes. Son estos incendios, considerados una perturbación del ecosistema, pero a la vez, funcionan como un importante proceso regulador de la sabana y el bosque a nivel local. El fuego en este ecosistema trabaja de esta forma: elimina las plántulas de árboles, así como también aquellas especies de árboles sensibles al fuego, promoviendo así que solo se desarrollen pastos y plantas leñosas dispersas que poseen características que les permiten resistir el fuego.

Si el fuego en el ecosistema de sabana se suprime constantemente por acción humana, la sucesión vegetal entra en juego. La sucesión vegetal hace referencia a las variaciones que ocurren en la cantidad de especies que habitan un sitio en un lapso de tiempo determinado. La sucesión trabaja de tal manera que se realiza desde el principio de la sucesión, un reemplazo de especies (desplazamiento) o de una comunidad vegetal por otra con el pasar del tiempo. Por lo anterior, la sucesión vegetal hace que los pastos C4 intolerantes a la sombra, que son el principal combustible de los incendios, así como también las plantas leñosas, sean superados y desplazados por árboles de bosque, dando como resultado en la expansión del bosque (Bernardino et al, 2021).

Aun dicho lo anterior, la sucesión vegetal en el ecosistema de sabana solo sucede en sabanas de origen antrópico (Vargas, 2011a), ya que como lo indica Artavia y Ávalos (2020), la vegetación de una sabana natural se origina mediante la interacción natural de factores climáticos, edáficos y de precipitación que junto limitan y moldean el crecimiento de la vegetación. Aun cuando una sabana natural se proteja del fuego constantemente, la vegetación permanece igual debido a que los factores antes mencionados son los que realmente mantienen la estructura del ecosistema, sin embargo, el fuego aún sigue teniendo un papel importante en las características de las plantas allí presentes y en la estructura de las comunidades vegetales.

2.4 Ecosistemas de Sabana en Costa Rica

La clasificación de las sabanas aún es un poco vaga incluso en la actualidad. Respecto a lo anterior, Elizondo y Jiménez (1987) explican que actualmente no hay una clasificación general de las sabanas del trópico americano, por lo que muchos autores las clasifican según su conocimiento. En Costa Rica, Murillo (1984) y Gómez (1986) citado por Elizondo y Jiménez (1987), clasificaron a las sabanas como seca de bajura y sabana húmeda, y sabana abierta, sabana arbolada y sabana húmeda respectivamente.

Las sabanas se pueden clasificar dependiendo de la composición de su paisaje y la extensión de su época seca. La sabana húmeda que se localiza en el Pacífico Sur de Costa Rica, específicamente en la subregión del Valle del General, esta zona se caracteriza por tener una precipitación anual promedio de 3700 mm y con un periodo seco de tres meses que va de enero a marzo. Es por lo anterior que las sabanas que se localizan en esta región del país se les conoce como sabanas húmedas (Comité Regional de Recursos Hídricos, 2008). Por otro lado, en el Pacífico Norte, en Guanacaste, Costa Rica, se encuentran las sabanas secas de bajura con periodos secos de hasta 5 meses y con precipitaciones anuales superiores a los 750 mm (Elizondo y Jiménez, 1987). El Comité Regional de Recursos Hídricos (2008) indica que la precipitación anual del Pacífico Norte oscila entre los 1500 y 2500 mm, siendo sitios como Peñas Blancas y Liberia los que poseen menor precipitación con 1784 y 1517 respectivamente.

Meléndez (2015), menciona que, en Guanacaste, la época seca se puede extender entre los 5 y 6 meses, por lo cual, coincide con el término de sabana seca. Lo anterior es confirmado también por Vargas y Quesada, (2018) al explicar que Guanacaste es una región del país que se caracteriza por poseer una baja precipitación (+- 1800 mm anuales), la cual se concentra en pocos meses del año, una época seca de cinco meses, además, posee temperaturas promedio mensuales que rondan los 28 °C, lo cual condiciona enormemente el desarrollo de la vegetación, sobre todo por las extensas sequías que siguen después de las lluvias. Es debido a estas características, el hecho de que esta región sea la más afectada en todo Costa Rica por los incendios forestales, porque las características de la región proveen las condiciones ideales que hacen a estos sitios vulnerables a incendios.

A pesar de lo anterior, la clasificación de las sabanas es aún inexacta y un poco vaga hasta el día de hoy, puesto que varios investigadores entre los cuales podemos mencionar a Gómez, 1986 citado en Jiménez (2016), tienen diferentes formas de describir y clasificar a los ecosistemas de sabana. Este investigador clasificó las sabanas de Costa Rica en: Sabanas abiertas, las cuales se encuentran dominadas por gramíneas, con abundancia de *Trachypogon plumosus*, y esta se encuentra en la vertiente pacífica de varios volcanes de la Cordillera de Guanacaste; Sabana arbolada, esta se encuentra dominada por pastizales y posee un estrato compuesto por árboles y arbustos dispersos, entre los cuales se puede mencionar al *Quercus oleoides* Schltld. & Cham. Y el *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, se encuentra representada en las tierras bajas de la provincia de Guanacaste; y la sabana húmeda, dominada igualmente por gramíneas y con presencia de árboles y arbustos como el *Curatella americana* L. y *B. crassifolia*, esta última se encuentra representada en el Valle de El General en la zona sur del país.

Como se pudo observar anteriormente, en Costa Rica no solo hay sabanas en la provincia de Guanacaste, también podemos encontrar sabanas en la parte central del Valle del General, también pequeñas muestras en el pacífico central, especialmente en el cantón de Turubares donde están localizadas las sabanas conocidas como el Rayo o sabanas Turubares. Respecto al Valle del General, existen varias secciones de sabana de distinto tamaño con vegetación propia de este ecosistema entre las localidades de Volcán y Boruca de Buenos Aires (Artavia y Ávalos, 2020).

En cuanto a las sabanas del sur de Costa Rica, Artavia (2011) menciona las principales siendo estas: sabana La Esperanza, Buenos Aires, Ujarras, Térraba, Los Leones, Dúrika, Helechales, Macho Montes, Caracucha, Palacios, Buril, Concepción-Dibujada, La Tinta, Camancragua, El Barranco, Mano de tigre, Bruran, Comejen, Calienta Tigre y San Joaquín. De estas sabanas, la de Ujarras es la más grande con 7,065 hectáreas, mientras que la más pequeña es la de Calienta Tigre con apenas 8,8 hectáreas.

2.5 Estratos Vegetales del Ecosistema de Sabana

El ecosistema de sabana es un bioma único, con características y necesidades muy particulares que le diferencian del resto. Debido a lo anterior, su vegetación es de igual forma muy particular y posee una estratificación distinta a otros ecosistemas. El estrato vegetal forma parte del estudio de la estructura de un ecosistema. Según Fallas (2015), la estructura de un ecosistema hace referencia al orden, distribución y función de las partes que lo componen como un todo. Esta estructura se puede entender como una organización física o espacio-temporal de las expresiones que conforman su biodiversidad, por ejemplo: especies, genes y poblaciones que lo componen. Existen atributos estructurales como los bióticos y abióticos, permiten la creación de diversos hábitats y también generan patrones espaciales a nivel de paisaje.

Una de las formas de estudiar la estructura de un ecosistema es mediante su estructura vertical y horizontal. Un ecosistema se construye en base a su vegetación en una estructura espacial funcional, que posee límites físicos y un tamaño variable. Cuando se habla de la estructura horizontal, se refiere especialmente a la distribución en un espacio determinado de los elementos que conforman a un ecosistema, estos elementos como se ha mencionado anteriormente, pueden ser factores bióticos o abióticos, que, como resultado, afectan y modifican la organización y los patrones del paisaje (Fallas, 2015). En el ecosistema de sabana, debido al fuego, se da una dominancia de pastos y plantas leñosas dispersas, esto hace referencia a la estructura horizontal, creando un paisaje único con estas características físicas.

Por otro lado, está la estructura vertical, la cual hace referencia a la estratificación de las especies vegetales en respuesta a las condiciones del medio en donde se encuentran, estas condiciones pueden ser temperatura, disponibilidad de luz, agua y nutrientes. En relación a esto, Atilio (2020), explica que la estratificación de un ecosistema puede tener uno, varios o todos de los siguientes estratos: muscinal, herbáceo, arbustivos y arbóreo. Es importante recalcar que el resultado de esta estratificación permite distinguir y caracterizar distintas fisonomías en un ecosistema como resultado de un agrupamiento específico de especies vegetales. En bosques bien desarrollados, debido al accionar de la sucesión vegetal, pueden existir varios estratos en la vegetación, sin embargo, este no es el caso en las sabanas. El ecosistema de sabana a diferencia de otros ecosistemas como los bosques tropicales, poseen una estratificación más limitada. Como se ha mencionado anteriormente, domina el estrato herbáceo con pastizales, ya que el estrato arbustivo y arbóreo está muy reducido y se encuentra muy disperso debido a la acción recurrente del fuego.

2.6 Estrato Herbáceo

El estrato herbáceo según Sevilla (2008), es aquel que alcanza alturas inferiores a medio metro, también se le puede clasificar como aquel estrato que se encuentra y se desarrolla más próximo al suelo. El estrato herbáceo comprende incluso plántulas de árboles, pero este recibe su nombre porque está dominado por plantas de tipo herbáceas o comúnmente conocidas como hierbas.

Las hierbas son un tipo de vegetación que tienen poca o nula lignificación en sus tejidos, esto quiere decir que poseen una consistencia blanda en sus órganos como lo puede ser el tallo. Las hierbas son plantas que pueden ser anuales o perennes con alturas menos a un metro, sin embargo, existen excepciones a esto, puesto que especies de plantas de la familia Musacea como lo son los bananos, plátanos y cuadrados, son considerados hierbas al no tener lignificación en sus órganos, pero estos llegan a medir incluso más de dos metros de altura. Aun así, podemos generalizar que las hierbas son aquellas plantas de menos de un metro de altura que no desarrollan leño.

2.6.1 Función del estrato herbáceo en el ecosistema de sabana.

El estrato herbáceo es el punto de inicio de cualquier planta terrestre no epífita, sin importar si es una hierba o solo una plántula de un árbol en crecimiento. En el caso de las sabanas, este está dominado por pastos, por lo que la competitividad por recursos es muy grande, es por ello, que el estrato herbáceo tiene una función reguladora que determina la distribución y básicamente el futuro de plántulas de especies de mayor tamaño al establecer un sitio de alta competencia por nutrientes, luz y agua. Las hierbas de este estrato también cumplen un rol en el ciclo de nutrientes, siendo estas una

fuelle de producción primaria y permitiendo el flujo de energía en el ecosistema. El estrato herbáceo es el estrato más pequeño, pero no el menos importante, este también posee otras cualidades que lo hacen muy importante, sirve como fuente de alimento de muchos animales, incluyendo insectos como mariposas que se alimentan del néctar de las flores, también sirve como hábitat para muchos organismos de tamaño pequeño, entre ellos las comunidades microbianas (Madrigal y Vargas, 2016).

Según las definiciones por Font-Quer (2001), el hábito en una planta se refiere al porte o aspecto de la planta, lo que esta se asemeja. Según las definiciones de este autor, el hábito puede ser una hierba común o forbia sin lignificación en sus partes, arbustos, árboles, gramíneas que son hierbas con una morfología distinta a las forbias y las hierba sufruticasas. Respecto a esta última, la palabra sufruticosa proviene de la palabra sufrútice que hace referencia a una planta con características semejante a un arbusto, pero más pequeñas, estas plantas sufruticasas poseen lignificación en la base de la planta, pero en el resto de sus estructuras conservan una constitución herbácea sin lignificación.

En este estudio, solo se aborda el estrato herbáceo, por lo que los hábitos de las plantas de estudio son las hierbas comunes o forbias, hierba sufruticosa, gramíneas y ciperáceas. La hierba sufruticosa se incluyen en el abordaje de las hierbas comunes o forbias debido a que son muy semejantes con la única diferencia en la lignificación de sus partes.

2.6.2 Hierbas gramínoideas o gramíneas.

Las gramíneas son un tipo de hierba que representa a uno de los grupos de plantas vasculares más diversos y numerosos del planeta. Estas han logrado adaptarse a muchos tipos de hábitats, desde aquellos secos y cálidos hasta húmedos, alpinos y más. Estas generalmente cohabitan con otros tipos de hierbas formando pastizales. Existe una familia muy diversa de gramínea llamada Poaceae, esta ocupa el tercer lugar en el mundo en cuanto a diversidad de género se refiere, y la posición número cinco en cuanto a especies. Las gramíneas tienen un rol muy importante en el planeta, han servido como fuente de alimento para el ser humano como lo es el caso del maíz, también para animales domésticos como forraje, ya que cuentan con sustancia necesarias como azúcares, proteínas, minerales y vitaminas que permiten el buen desarrollo de los animales. El uso de las gramíneas no solo radica en el alimento, también muchas sirven en la medicina, para elaboración de artesanías y otros artículos, en la construcción de infraestructura como el bambú y los carrizos, en la industria, en la recreación utilizada en las famosas canchas de fútbol, en la ornamentación y en aspectos religiosos como ceremonias (Dávila et al, 1993).

Aunque bien tiene diversos usos y funciones para el ser humano, la importancia de las gramíneas radica en su papel ecológico. Las gramíneas como lo indica Dávila et al (1993), tiene un rol muy importante en la formación y conservación del suelo. Las gramíneas poseen raíces fibrosas y fuertes que penetran en la roca y producen su degradación en su intento por extenderse para obtener mayor superficie de absorción, provocando así, que se dé una reestructuración pasiva del suelo y por ende se dé la formación del mismo. Otra utilidad que tiene las gramíneas es que, por su gran dominancia y proliferación, ayudan a fertilizar el suelo con la degradación de gran cantidad de materia vegetal que se desprende de estas a lo largo del tiempo, además, por el mismo motivo, al haber muchas de estas y en alta concentración, previenen la erosión del suelo de agentes naturales como la lluvia y el viento.

Además de lo anterior, las gramíneas podrían representar el único recurso natural disponible para gran variedad de animales silvestres. Los pastizales que se forman por la dominancia de las gramíneas, sirven como refugio de muchos animales, aportan recursos para la creación de nidos u otros sitios de refugio, también sirven como alimento para muchos animales como mamíferos y aves principalmente, ya que crea un sitio donde habitan muchos insectos que las aves usan como alimento, también son fuente de variedad de semillas o partes vegetativas de la planta que sirven como alimento para muchos animales estrictamente granívoros y herbívoros (Dávila et al, 1993).

2.6.3 Hierbas graminiformes.

Son hierbas que poseen rasgos morfológicos que les confieren un aspecto muy similar al de las hierbas graminoides o pastos (Font-Quer, 2001), pero no pertenecen a la misma familia que las gramíneas. Un ejemplo de estas hierbas son las hierbas ciperáceas (Familia Cyperaceae). Una ciperácea de gran importancia para este trabajo es la *Bulbostylis paradoxa*, esta planta es una especie herbácea muy representativa de los ecosistemas de sabana en Costa Rica.

2.6.3.1 Ciperácea representativa del ecosistema de sabana, Bulbostylis paradoxa

2.6.3.1.1 Taxonomía de la B. paradoxa y su hábito de crecimiento.

Pérez (2012) describe a la *Bulbostylis paradoxa* como una especie cespitosa. Dávila et al. (1993) explican que este tipo de crecimiento se debe a la ramificación del rizoma, ya que *B. paradoxa* no tiene estolón, lo que resulta en la formación de alfombras de pasto. Los ejemplares más viejos de *B. paradoxa* pueden alcanzar tamaños grandes con múltiples ejes de floración, asemejando su apariencia a una cabeza humana con cabello abundante. La *Bulbostylis paradoxa* es una planta herbácea de la familia

Cyperaceae, que incluye alrededor de 150 especies en zonas tropicales y subtropicales. Generalmente habita en lugares abiertos como el ecosistema de sabana, prefiriendo suelos arenosos y a veces húmedos (López y Gonzalez, 2017). Al pertenecer a la familia Cyperaceae, se clasifica como un pasto. Según las definiciones de Font-Quer (2001), su hábito de crecimiento es el de una hierba ciperácea graminiforme, ya que cuenta con características morfológicas que la asemejan a las gramíneas, especialmente sus hojas y raíces.

2.6.3.1.2 Características morfológicas de la *Bulbostylis paradoxa*.

Las hojas son fundamentales para distinguir las hierbas graminiformes y los pastos de las especies no graminoides: las hierbas graminiformes tienen hojas angostas y de venación paralela, similar a las gramíneas, mientras que las no graminoides presentan hojas anchas con venación ramificada. La *Bulbostylis paradoxa*, según las definiciones en Font-Quer (2001), es una ciperácea graminiforme, que muestra numerosas hojas finas. Las hojas de *B. paradoxa* presentan características propias, a pesar de su similitud con las gramíneas. Según Rodríguez (2014), son numerosas, recurvadas, de aproximadamente 0,5 mm de ancho y con una longitud igual o superior a los escapos que sostienen las flores. Su forma es filiforme, lisas y ligeramente pubescentes. Popularmente, se les conoce como “pelo de troll” o “pelo de chino” por su apariencia similar al cabello humano.

Las raíces de *B. paradoxa* son secundarias, cortas y ramificadas, y reemplazan a la raíz principal, que es de corta duración y solo está presente en las etapas tempranas de desarrollo de la planta (Dávila et al, 1993). La *B. paradoxa*, aunque comparte características morfológicas con los pastos, también presenta rasgos que la distinguen de otras hierbas graminiformes. Su tallo es peculiar: es corto y grueso, y aunque crece verticalmente sobre el suelo, se clasifica como un rizoma. Según Luz (2011), los rizomas son órganos especializados que generalmente crecen horizontalmente bajo la superficie del suelo. Sin embargo, en el campo, se observa que el tallo de *B. paradoxa* es erguido y nunca horizontal, lo que lo hace especial.

Referente al tallo, este se considera un rizoma porque presenta características de un tallo subterráneo. Troiani et al (2017) señalan que los tallos subterráneos no realizan fotosíntesis y se especializan en almacenar agua y nutrientes. Estos dos rasgos caracterizan el tallo de la *B. paradoxa*, especialmente el primero, ya que no es herbáceo y carece de clorofila, lo que impide la fotosíntesis. Los rizomas pueden ser leptomorfos (largos y delgados) o paquimorfos (gruesos y cortos). Según lo anterior, la morfología del tallo de *B. paradoxa* concuerda con la descripción de un rizoma paquimorfo. Rodríguez y Maranhão (2009) por su parte, caracterizan este tallo como un rizoma ortótropo, lo que se refiere a

tallos aéreos que crecen verticalmente. Este término indica que, a diferencia de otros rizomas que crecen horizontalmente, este se desarrolla sobre la superficie del suelo. En estudios, se ha observado que, en plantas maduras de *B. paradoxa*, la endodermis del tallo presenta un grado de lignificación, lo que explica la presencia de una estructura similar a un "tronco" en cortes transversales de algunos ejemplares.

2.6.4 Forbias o hierbas no graminoides.

Como podemos observar, las gramíneas son un recurso muy importante para el ser humano, así como para los animales domésticos y silvestres, quizás por esta razón, se le ha dado mayor importancia a este grupo de hierbas, ya que las investigaciones sobre las forbias o hierbas no graminoides en las sabanas son escasas, aun cuando las hierbas no graminoides forman parte de un componente distinto pero muy importante del estrato herbáceo (Siebert y Dreber, 2019).

Al igual que las gramíneas, Siebert y Dreber (2019), explica que las forbias o especies no graminoides contribuyen con el ecosistema de diversas formas como en la provisión de alimento de muchos organismos, desde insectos hasta mamíferos de gran tamaño, ya que este tipo de hierba es nutritiva y sirve como una dieta base para ungulados y ganado por igual. Un aspecto muy importante de las hierbas no graminoides para para el ecosistema de sabana, es que estas representan el componente herbáceo más diverso en cuestión especies, lo que provee un mejor equilibrio en el ecosistema. De igual forma, las forbias o hierbas no graminoides como parte del estrato herbáceo, contribuyen en el ciclo de nutrientes promoviendo el ingreso de carbono al suelo mediante la acumulación de material vegetal en el mismo.

Las forbias o hierbas no graminoides, contribuyen cuantiosamente en la riqueza fitogenética en los pastos de las sabanas. Cuando hablamos de taxonomía, las gramíneas son presentadas generalmente mediante el nombre de su familia, sin embargo, esto no es correcto en el caso de las hierbas no graminoides, ya que estas debido a su gran diversidad, cuentan con una larga lista de nombres de familias. Algunos estudios se han realizado que demuestran los efectos positivos que se generan en un ecosistema al tener una alta diversidad de especies de plantas, dando como resultado aspectos de multifuncionalidad, típica en pastizales como en las sabanas, donde las forbias o hierbas no graminoides, representan más del 50% de las especies que allí se encuentran (Brathen et al, 2021).

Esta alta diversidad de especies herbáceas no graminoides no solo brinda equilibrio al ecosistema, sino que también influyen en los procesos de polinización. Se ha demostrado que la

abundancia de polinizadores en un ecosistema, está correlacionado directamente con la densidad florística de hierbas no gramínoideas que allí se encuentran (Woodlock et al, 2014). En relación a esto, Wendell y Mace (2011), mencionan que un aspecto muy importante para calificar un hábitat como de alta calidad para la polinización es estudiar la abundancia y diversidad de las plantas con floración. Podemos confirmar lo anterior con Lane et al (2019), donde explican la importancia de las forbias en relación a la polinización, viendo la incorporación de estas al paisaje de un ecosistema como la principal metodológica para la conservación de los organismos polinizadores, ya que estas hierbas proveen de polen y recursos como el néctar en gran cantidad.

Con lo expuesto anteriormente, podemos comprender como el estrato herbáceo como un todo, es de gran importancia para el ecosistema, especialmente el de sabana donde este estrato es el predominante, sin embargo, al ser las sabanas un ecosistema con alta recurrencia al fuego, este estrato es básicamente el más afectado y representa el combustible que necesita el fuego para arder.

2.6.5 Efectos del fuego sobre el estrato herbáceo.

El estudio del impacto que tiene el fuego sobre el estrato herbáceo ha sido poco estudiado a través del tiempo, el cómo este moldea este estrato ha tenido poca atención a pesar de la importancia que tiene a nivel ecosistémico jugando un papel importante en su integridad y en la resiliencia del mismo post incendio. Conocer el impacto que tiene el fuego sobre este estrato es de vital importancia en el ámbito de la conservación, puesto que permite a los profesionales evaluar los riesgos y necesidades post incendio para posibles restauraciones. Es necesario recalcar que este estrato merece igual reconocimiento y atención que otros estratos encontrados en otros ecosistemas, actualmente no existe un modelo base o proceso que permita predecir cómo los incendios afectan el estrato herbáceo en relación a su supervivencia. Aunado al poco interés para estudiar este estrato, se suman cada vez más variables que lo ponen en peligro constante como lo es el cambio climático, y la introducción de especies exóticas que alteran el régimen de incendios y, por ende, la estructura de la vegetación. Es por lo anterior, que es urgente y necesario poseer más información que nos permita entender los efectos de modelado que tiene el fuego en las plantas de este estrato (Stephan et al, 2010).

Cuando el estrato herbáceo arde por el fuego, Stephan et al (2010) menciona que el efecto más notorio en las plantas es la quema de todo el organismo o de algunas de sus partes. Aunque la quema total de una planta conduce a su fatídica muerte, no es el caso cuando la combustión ocurre solo en algunos de sus órganos, esto depende de la cantidad del tejido regenerativo y meristemático que logre sobrevivir después del fuego. Un aspecto que determina la supervivencia de tejido en una planta

después del fuego es el grado de exposición de este ante el fuego, algunos tejidos de ciertas especies de plantas pueden estar completamente expuestos, pero otros se encuentran protegidos por material vegetal que actúa como escudo, este material vegetal puede ser corteza, hojas o alguna otra estructura de la planta, así como también hojarasca y capas de material orgánico y mineral presente en el medio que donde se encuentra.

Esta forma de protegerse del fuego se conoce como evasión del fuego o calor, ya que la planta se protege indirectamente con estos escudos, sin embargo, hay especies de plantas que, aunque sus tejidos son expuestos directamente al calor, logran resistirlo debido a características especiales de sus tejidos que le permiten reducir, prevenir o incluso reparar las heridas causadas por el fuego. Esta forma de resistencia al fuego es conocida como tolerancia al fuego, y le permite al organismo o a su tejido sobrevivir al estrés del fuego.

2.6.6 Adaptaciones de hierbas al fuego.

Debido al estrés que les provoca el fuego a las plantas del estrato herbáceo, muchas de ellas han generado algún grado de adaptación al fuego que les permite colonizar y permanecer en el ecosistema de sabana. Las adaptaciones de las plantas al fuego se pueden dividir en dos categorías: Aquellos rasgos que mejoran la capacidad de supervivencia de la planta y, por otro lado, aquellos rasgos que mejoran las capacidades de regeneración de una especie luego del incendio. Para entender los patrones en que estos rasgos se distribuyen en las especies expuestas al fuego, es necesario tomar en cuenta el régimen de incendios, ya que los rasgos pueden diferir bastante, lo anterior se toma en cuenta tanto para rasgos que permiten la supervivencia post incendio de plantas, así como también aquellos que permiten la regeneración post incendio (Pausas y Keeley, 2022).

Acerca de los rasgos, Pausas y Keeley (2022) mencionan que las adaptaciones al fuego para el reclutamiento post incendio es un rasgo que muchas veces es obligatorio en ciertas especies puesto que carecen completamente de la habilidad para rebrotar. Esta situación ocurre de manera viceversa, otras especies carecen completamente de la habilidad para producir semillas para el posterior reclutamiento pasado el fuego y deben depender completamente de su habilidad para rebrotar. Existen plantas facultativas que poseen ambos rasgos, pueden rebrotar y también poseen la capacidad para generar semillas para el posterior reclutamiento de especies.

Existen otros rasgos adaptativos al fuego que no tienen que ver con la supervivencia de la planta, pero sí con su floración. La floración post incendio es un rasgo muy sobresaliente en los ecosistemas

propensos al fuego como el de sabana, donde el pasar del fuego estimula y promueve el florecimiento de plantas vigorosamente, sin embargo, limita su florecimiento entre incendios, de ahí el hecho de considerar estas plantas dependientes del fuego. En el ecosistema de sabana, por su estructura vegetal, los incendios son generalmente de baja intensidad de tipo superficial, lo que ha provocado que los rasgos de las plantas que allí se encuentran, se enfoque principalmente en la supervivencia en lugar del reclutamiento post incendio (Pausas y Keeley, 2022).

2.6.7 Efectos de los regímenes de fuego en el estrato herbáceo y vegetación.

Las adaptaciones de las plantas, sus rasgos, son algo que han desarrollado debido a la presencia del fuego en su medio. Sabemos que los incendios en las sabanas son superficiales y de poca intensidad, sin embargo, si estos incendios son muy recurrentes, dados en periodos muy cortos de tiempo, el fuego podría tener un efecto diferente en la vegetación. Es por lo anterior que el régimen de incendios es una variable muy importante a considerar cuando se refiere al fuego y su accionar en determinado ecosistema.

En el caso de las sabanas que es un ecosistema propenso y recurrente al fuego, el cambio en el régimen de fuego puede que no afecta tanto como otros ecosistemas. Cuando se habla de cambios en el régimen se hace referencia principalmente a la frecuencia y a la intensidad. Si se incrementa la frecuencia de incendios por factores antropogénicos, también se está afectando la intensidad de los mismos, puesto que entre más recurrente sea el incendio, menos material vegetal habrá disponible en el medio y la intensidad será menor (Keeley y Pausas, 2019). El ecosistema de sabana, al igual que otros ecosistemas abiertos, una alta frecuencia de incendios puede ser beneficioso al permitir el mantenimiento de este paisaje abierto, ya que la alta recurrencia del fuego impide que plantas leñosas tengan tiempo de recuperarse y restablecerse. Lo anterior, sin embargo, también afecta la diversidad total del ecosistema al reducir su riqueza, abundancia e incluso productividad. Respecto a lo anterior, aunque las especies en el ecosistema de sabana estén adaptadas a un régimen frecuente de incendios, todo tiene un límite y estas plantas no son la excepción, si el régimen de incendios es demasiado recurrente, esto puede afectar la cantidad de reservas guardadas en órganos de la planta como el tallo, raíces u otros órganos bajo tierra que actúan como reservorios de nutrientes y energía, lo que finalmente podría afectar el vigor de las plantas y su capacidad para rebrotar o florecer cada vez que ocurren la perturbación (Rodríguez et al, 2021).

2.7 Cómo Afecta el Fuego la Diversidad y Abundancia de Especies Vegetales

El cambio en la frecuencia del fuego, también podría llevar a cambios en la composición de especies en el ecosistema. Cuando el humano con su accionar cambia el régimen de incendios en un ecosistema, da cabida a cambios en la vegetación. Como lo indica Keeley y Pausas (2019), generalmente la alta frecuencia de incendios puede conllevar a la invasión de pastos exóticos altamente competitivos en un ecosistema, dando como resultado el desplazamiento de muchas especies nativas, tanto de gramíneas como especies no gramíneas, lo que llevaría a una pérdida en la diversidad y abundancia de especies. Estos pastos invasores generalmente conllevan a un círculo vicioso donde estos proveen mucha cantidad de combustible al medio en forma de biomasa para favorecer la quema, y, por otro lado, estos pastos poseen una alta capacidad de rebrote y competitividad, permitiéndoles quemarse y recuperarse aceleradamente, eliminando otras gramíneas y forbias que no pueden seguirles el ritmo.

2.8 Importancia de la Distribución Espacial de Especies en el Ecosistema

Lo anterior muestra la amenaza que supone esta problemática a la diversidad en el ecosistema de sabana. La diversidad de especies de plantas en el ecosistema, es un tema muy importante y como tal ha adquirido relevancia en su estudio a lo largo del tiempo, debido a los estudios que han demostrado su relación con el buen funcionamiento de los ecosistemas, proveyéndoles de estabilidad y productividad, además, del peligro que se enfrentan en la actualidad como resultados del accionar humano (Vargas y Sánchez, 2019).

Es importante recordar cómo se genera la diversidad de un ecosistema y su mantenimiento a lo largo del tiempo, también, es de suma importancia conocer cómo se efectúa la distribución espacial de las especies vegetales en un sitio y qué significado tiene en el ecosistema. La vegetación como lo indica Duran y García (2010), es la expresión fisionómica y estructural de una comunidad vegetal en un ecosistema, esta se encuentra y permanece en un determinado sitio debido a la adaptación a las condiciones que imperan en ese ambiente, estas condiciones pueden ser físicas, químicas o biológicas. De esta forma, la vegetación de un ecosistema conformada por diversas especies, establece una formación que se expresa en el paisaje tanto de forma horizontal como vertical, creando así lo que se llama una comunidad vegetal. Estas comunidades pueden ser muy diversas con varias especies herbáceas, arbustivas y arbóreas, o menos diversa con pocas especies y con un dominio evidente de alguna de ellas.

Es notable mencionar que estas comunidades vegetales de forma general, se crean en base a las condiciones climáticas y edáficas del medio en el que se encuentran, sin embargo, existen otros factores

que a su vez son muy determinantes en la formación de estas comunidades, estos factores pueden ser físicos o bióticos, los cuales moldean la estructura y la composición de la vegetación de un ecosistema a lo largo del tiempo. Recordemos que el fuego es un factor físico primordial, que tiene la capacidad de afectar la vegetación y moldear su estructura y composición, tomando en cuenta variables actuales como la modificación de regímenes de fuego que exacerban aún más sus efectos sobre las comunidades vegetales.

2.9 Métodos para Estudiar la Heterogeneidad Espacial de la Vegetación

Es debido a lo que significa para el ambiente la distribución espacial de especies y la diversidad de las mismas, que es importante su estudio. Para el estudio de la diversidad de especies, se puede realizar un análisis de la heterogeneidad espacial de especies entre varios sitios y comparar los resultados. Lo anterior se conoce como diversidad beta, esta consiste en los cambios en la composición de las comunidades vegetales entre sitios de estudio. Para el estudio de la diversidad beta, se utilizan análisis estadísticos de disimilitud que se basan en datos cuantitativos sobre especies compartidas o exclusivas en cada sitio (Calderón y Moreno, 2019). El índice de disimilitud de Bray-Curtis es uno de los índices más utilizados para el estudio de la diversidad beta, este índice estadístico se usa para analizar la disimilitud en la composición de especies vegetales en distintos sitios, tomando en cuenta la presencia o ausencia de especímenes haciendo uso de los resultados del conteo de especies en el trabajo de campo (Caranqui et al, 2016).

Al manejarse gran cantidad de datos numéricos, se hace difícil realizar una comparación manual haciendo uso de este índice, es por ello, que se utilizan programas estadísticos que tienen incorporados este y otros índices estadísticos que usan de igual manera, los datos reunidos en el trabajo de campo y los analiza rápidamente mostrando la información resultante en forma de figuras fáciles de procesar y entender. Programas como el Past 4 y el programa estadístico R son un ejemplo de estos programas, son libres para uso público y representan una buena forma para el estudio de la diversidad de un sitio de forma eficiente y eficaz.

III. Marco metodológico

3.1 Enfoque, Tipo y Diseño de la Investigación

En cuanto a la metodología de este trabajo, se optó por el uso de un enfoque mixto para llevarlo a cabo, puesto que el trabajo se centra mucho en el aspecto cuantitativo al hacer uso de datos estadísticos y numéricos para obtener los resultados, en embargo, también posee una parte cualitativa que es necesaria para la realización de uno de sus objetivos. En los primeros dos objetivos, la base para su realización es el uso de los números obtenidos del conteo de especies para su posterior comparación, por lo que el enfoque es estrictamente cuantitativo. Por otro lado, el último objetivo se basa en un aspecto mixto, tanto cualitativo como cuantitativo, ya que se usa datos cuantitativos para la investigación de variables como la floración y también se hace uso del enfoque cualitativo para describir y discutir características de la especie nativa del ecosistema de sabana, *Bulbostylis paradoxa*.

Este trabajo se puede clasificar como de tipo exploratorio y comparativo. Es un trabajo exploratorio porque el interés principal es conocer los efectos del fuego en el estrato herbáceo en el ecosistema de sabana, un trabajo que actualmente no se ha realizado en Costa Rica. Por otro lado, se puede clasificar también como un trabajo comparativo porque parte importante de la metodología del trabajo es comparar los resultados del efecto del fuego en el estrato herbáceo post incendio con los datos del análisis pre incendio, también se realizan comparaciones de los efectos del fuego sobre la gramínea nativa de sabana *Bulbostylis paradoxa* en diferentes sitios de estudio con diferentes regímenes de incendios, además, de la comparación de la presencia/ausencia y abundancia de especies vegetales entre un sitio y el otro.

En cuanto al diseño de la investigación, este trabajo se basó en un diseño experimental, debido a que, para poder observar los efectos del fuego en el estrato herbáceo, se realizó una manipulación intencional de las variables dependientes e independientes en el campo. En este caso, la variable independiente es el fuego, que se utiliza para provocar la quema y la variable dependiente son las hierbas del estrato herbáceo, las cuales se evalúan para determinar los efectos del fuego sobre ellas.

3.2 Contexto de la Investigación

El presente trabajo se desarrolla en tres sitios de estudio, dos ubicados el Área de Conservación Guanacaste (ACG) y el tercero en el Área de Conservación Arenal Tempisque (ACAT). El ACG se ubica en la sección noroeste de Costa Rica e incluye toda la extensión territorial que representa a los cantones de

Liberia y La Cruz, así como también el distrito de Mogote en Bagaces de la Provincia de Guanacaste. El ACG también incorpora extensiones territoriales que representan a los distritos de Dos Ríos y una porción de Aguas Claras de Upala perteneciente a la Provincia de Alajuela (SINAC, 2017b).

El ACG posee un sistema que lo divide en 19 sectores con el fin de mejorar la coordinación de actividades (SINAC, 2013). A nivel regional, el ACG se caracteriza por tener suelos dominantes entisoles los cuales se caracterizan por tener perfiles poco profundos, son ácidos debido a la presencia de rocas ignimbríticas que lo conforman, además, presenta baja meteorización geoquímica que impide un adecuado crecimiento de la vegetación (Vargas y Quesada, 2018). El ACAT por su parte, se ubica en la parte noroeste de Costa Rica y posee un territorio que abarca cerca de 387 mil hectáreas. Al igual que el Área de Conservación Guanacaste, el ACAT forma parte de las 11 áreas que forman parte del Sistema de Áreas de Conservación (SINAC) (SINAC, 2017a).

El Parque Nacional Guanacaste forma parte del Área de Conservación Guanacaste (ACG), es en los terrenos de este parque donde se encuentran ambos, el primer y segundo sitio de estudio. El primer sitio de estudio se localiza en el ecosistema de sabana localizado en las cercanías del cerro El Hacha conocido como “Laguna Guayabal” ($11^{\circ}02'18.1''N$ $85^{\circ}32'55.0''W$) (Figura 1). Según registros del ACG, este sitio se quema prácticamente todos los años, por lo que posee una alta recurrencia de incendios (Didi. Guadamuz, comunicación personal, 5 de febrero de 2024).

Por otro lado, el segundo sitio se encuentra en el ecosistema de sabana localizado en “Loma Lito” ($11^{\circ}00'13.0''N$ $85^{\circ}36'19.5''W$) (Figura 2), igualmente en las inmediaciones del cerro El Hacha. Este sitio, a diferencia de Laguna Guayabal, no se ha quemado en mucho tiempo. De hecho, no existen registros digitales del último incendio en la zona, ya que los registros sobre incendios atendidos por los brigadistas comenzaron a generarse en 1997 y continúan hasta la fecha (Didi. Guadamuz, comunicación personal, 5 de febrero de 2024) Tanto el primer sitio de estudio “Laguna Guayabal” y el segundo “Loma Lito”, forman parte del sector del ACG conocido como El Hacha.

Ambos sitios se diferencian visualmente en su paisaje, en Laguna Guayabal (Figura 1), se aprecia un terreno amplio con muchos pastos y árboles de porte pequeño muy dispersos, en cambio en Loma Lito (Figura 2), la densidad de árboles de porte pequeño es mayor y no hay áreas amplias de puros pastos. Esta diferencia podría explicarse debido a lo mencionado anteriormente en cuando a la nula recurrencia de incendios en Loma Lito que le ha permitido a la vegetación de este sitio recuperarse lentamente.

Figura 1

Ecosistema de sabana natural en el primer sitio de estudio en Laguna Guayabal, Guanacaste, Costa Rica



Figura 2

Ecosistema de sabana natural en el segundo sitio de estudio en Loma Lito, Guanacaste, Costa Rica



El tercer sitio para el estudio, es un ecosistema de sabana que se encuentra en un terreno privado en una zona conocida como “Mico Pintado” (10°33'33.3"N 85°13'46.5"W) en Bagaces, este terreno se encuentra fuera de área protegida, pero forma parte del Área de Conservación Arenal Tempisque (ACAT) (Figura 3). Este sitio al igual que Laguna Guayabal, también presenta alta recurrencia de incendios (Murillo, 2024), esto debido a que es perturbado frecuentemente por la incidencia de personas que visitan este sitio que es famoso localmente por poseer características de un mirador.

Figura 3

Ecosistema de sabana natural en el tercer sitio de estudio en Mico Pintado, Guanacaste, Costa Rica



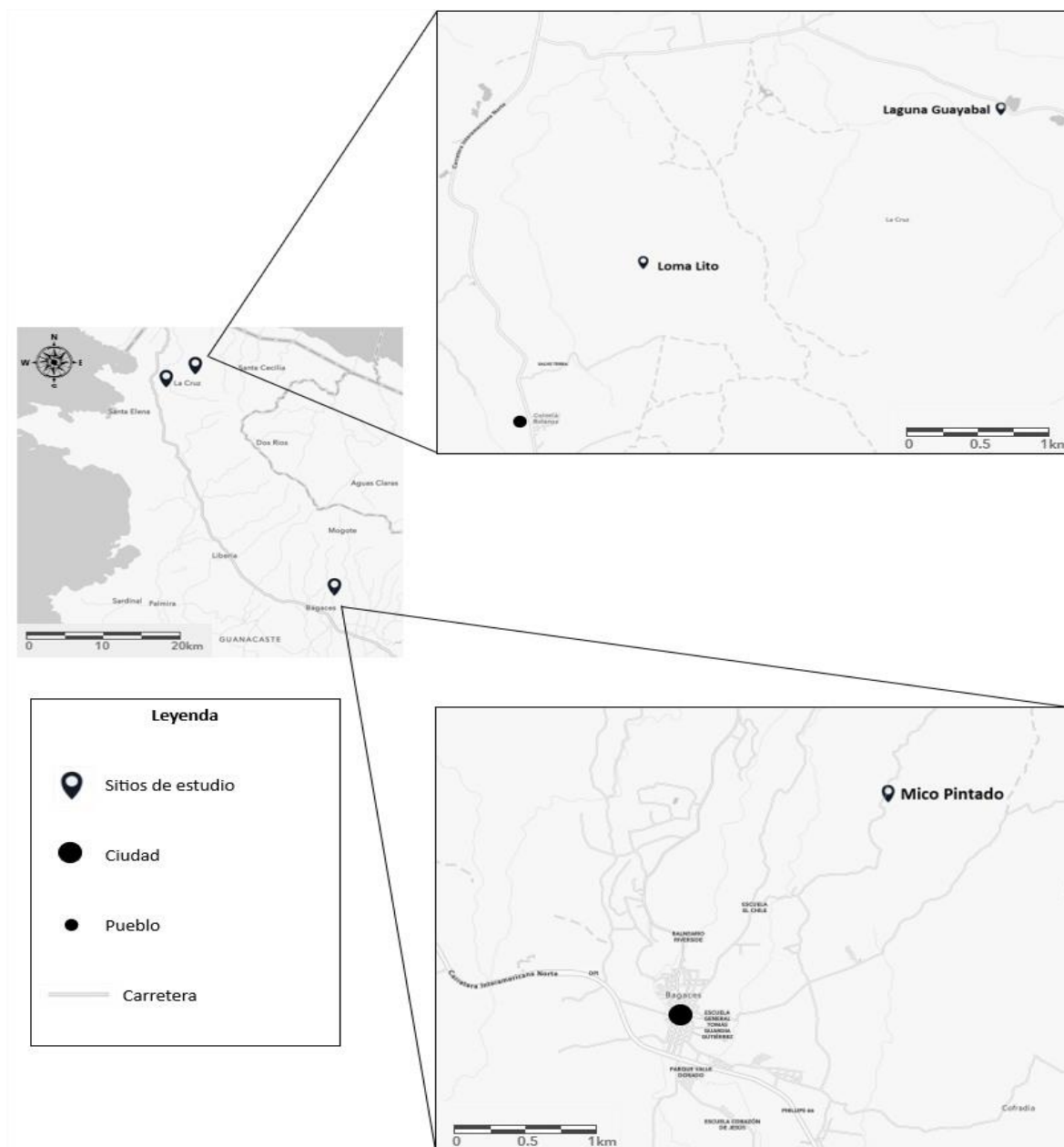
La selección de los sitios de estudios se realizó considerando las siguientes condiciones: la primera es que fueran sitios con un ecosistema de sabana natural y segundo, que los sitios tuvieran una especie conspicua del ecosistema de sabana como lo es la *Bulbostylis paradoxa*.

Entre otras consideraciones a la hora de seleccionar los sitios de estudio era la seguridad, al tener que realizar quemas prescritas como parte de la metodología de los objetivos, fue necesario utilizar sitios con acceso a vehículos de la brigada de incendio pertenecientes al Programa de Fuego del ACG como forma de precaución y seguridad para la realización de las actividades. Es por este mismo motivo que en el tercer sitio ubicado en Bagaces, la quema no se pudo realizar, ya que no se pudo obtener permisos de los dueños al ser terreno privado ni tampoco soporte por parte de los bomberos de la comunidad (Figura 4).

En general todos los sitios tenían acceso a vehículo, siendo solo el sitio en Laguna Guayabal accesible para todo tipo de automóvil, ya que los otros dos, necesitaban vehículos 4 x 4 por la dificultad del terreno. Los sitios de estudio no se encuentran a gran altitud, los sitios Laguna Guayabal y Loma Lito, poseen una altitud promedio similar entre las dos parcelas de 265,3 y 262,77 msnm respectivamente, siendo el tercer sitio en Mico Pintado el de menor altitud con 171,95 msnm en promedio.

Figura 4

Ubicación geográfica de los tres sitios de estudio en Guanacaste, Costa Rica



3.3 Técnicas, Instrumentos y Análisis de Datos

3.3.1 Estudio de composición florística del estrato herbáceo en condiciones pre y post incendio.

3.3.1.1 Técnicas e instrumentos.

Para este objetivo se utilizó como base la técnica de observación, puesto que se observó y contabilizó todas las plantas herbáceas dentro de las parcelas y subparcelas, tanto en situación pre incendio como post incendio. También, se utilizó la técnica causal-comparativa, ya que se realizó un estudio que utiliza la relación causa-efecto para obtener los resultados.

Para la realización de este trabajo, del 5 de febrero al 13 de junio del 2024, se realizaron un total de seis giras a los distintos sitios de estudio con el fin de realizar los análisis y evaluaciones pertinentes de este trabajo. Este primer objetivo se desarrolló mediante el establecimiento de dos parcelas en cada sitio de estudio, estas parcelas cuentan con una medida de cinco metros de ancho por diez metros de largo (Figura 5).

Figura 5

Fotografía de una Parcela de 5 x 10 metros en el primer sitio de estudio en Laguna Guayabal preparada para la quema prescrita



3.3.1.1.1 Selección de los sitios de estudio en Guanacaste, Costa Rica.

El objetivo es encontrar tres sitios de estudio ideales que cubrieran los requisitos para realizar los tres objetivos de este trabajo, estos son: un área abierta de sabana natural donde se puedan establecer dos parcelas de 10x5 metros y que, al mismo tiempo, dentro de estas parcelas haya suficientes especímenes de *Bulbostylis paradoxa* para poder realizar el tercer objetivo. Para encontrar estos sitios de estudio se tenía en mente dos lugares, primero el Parque Nacional Guanacaste y el segundo en Mico Pintado en Bagaces.

Del 5 al 7 de febrero del 2024, se realizaron dos recorridos, uno por varias zonas del Parque Nacional Guanacaste y otro en Mico Pintado. En el Parque Nacional Guanacaste, se estableció el primer y segundo sitio de estudio, localizados en los sitios conocidos comúnmente como: “Laguna Guayabal” y “Loma Lito” respectivamente. Estos sitios se escogieron no solo porque cumplían con los requisitos anteriormente mencionados, sino que también el segundo sitio en Loma Lito tiene mucho tiempo de no quemarse, por lo que hay un contraste interesante con el primer sitio en Laguna Guayabal que por lo general se quema todos los años al menos una vez. Esta situación es muy interesante y merece la pena tomarse en cuenta en este estudio, sobre todo en relación al tercer objetivo con el estudio y evaluación de la *Bulbostylis paradoxa*.

Los dos primeros sitios de estudio, Laguna Guayabal y Loma Lito, son ecosistemas de sabana, pero presentan diferencias notables. Laguna Guayabal tiene un relieve plano, con pastos dominantes y árboles de porte bajo muy dispersos, mientras que Loma Lito tiene un relieve quebrado y más inclinado, con una mayor densidad de árboles. El tercer sitio, Mico Pintado en Bagaces, es similar a Laguna Guayabal, con dominancia de pastos y árboles pequeños dispersos. Al igual que Laguna Guayabal, Mico Pintado experimenta frecuentes incendios, lo cual es relevante para el estudio.

3.3.1.1.2 Análisis del estrato herbáceo en condición pre incendio en los sitios de estudio

Del 5 al 6 de febrero del 2024, se realizaron los análisis pre incendio en ambas parcelas del primer sitio de estudio en Laguna Guayabal. Entre el 13 y el 15 de febrero de 2024, se realizaron los análisis pre incendio de ambas parcelas del segundo sitio de estudio en Loma Lito. Con ello, se culminaron los estudios correspondientes a la condición pre incendio en los sitios de estudio ubicados en el Parque Nacional Guanacaste.

Del 24 al 25 de febrero del 2024, se realizó el análisis pre incendio de las dos parcelas de este tercer sitio de estudio localizado en la zona conocida como “Mico Pintado” en Bagaces. En este sitio, se

utilizó la misma metodología que en sitios de estudio previos para el montaje de las parcelas, y se realizaron las mismas actividades dentro de las parcelas y subparcelas. En este punto, se culminó todos los análisis pre incendio en todos los sitios de estudio correspondiente al estudio de la vegetación del estrato herbácea.

3.3.1.1.3 Establecimiento de parcelas y subparcelas

Una vez listos los sitios, se procedió a montar las dos parcelas en el primer sitio en Laguna Guayabal, para ello, se utilizó trozos de varilla de construcción semi gruesas de 30 cm de altura y cuerda de pabilo para unir cada punto y formar un área visible de la parcela que facilite observar sus dimensiones. Con un martillo se insertó la primera varilla y en base a esta, se utilizó una cinta métrica para medir y posicionar el resto de varillas hasta formar las parcelas de 5 x 10 metros. Las barras de construcción antes de insertarlas en el terreno, fueron pintadas con spray color naranja para facilitar su observación en el campo.

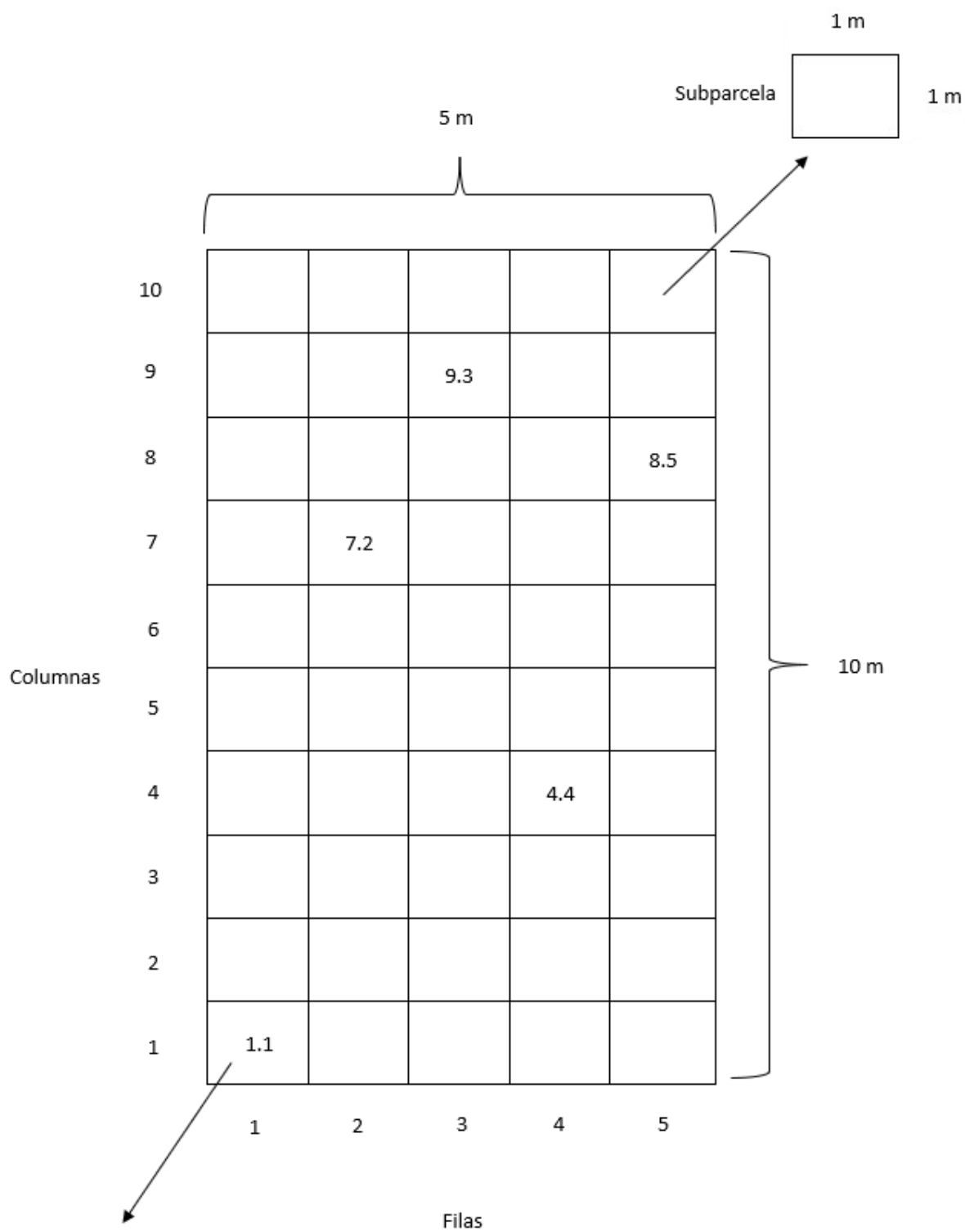
Una vez establecidas las parcelas se procedió a enumerar las subparcelas para realizar el estudio de composición florística correspondiente al primer objetivo. Se estableció que se iban a realizar diez subparcelas de 1m x 1m en cada parcela de cada sitio, para su establecimiento, se decidió dividir la parcela visualmente en filas y columna a lo largo de esta, cada fila mide un metro de ancho y como las parcelas miden cinco metros de ancho, cada parcela entonces posee cinco filas con cinco columnas a lo largo.

En cada una de las cinco columnas se deben establecer dos subparcelas de un metro cuadrado para estudiar la vegetación, debido que cada columna mide diez metros, se eligió aleatoriamente un número del 1 al 10 para determinar la ubicación de las subparcelas. Este método asegura que la selección sea objetiva y aleatoria. La disposición de las subparcelas de esta forma en las parcelas, facilita su estudio en condiciones pre y post incendio, permitiendo identificar su ubicación incluso después de la quema. Si el número generado coincide con el de una subparcela ya establecida, se vuelve a generar un número hasta obtener uno diferente. Lo mismo se aplica si la ubicación indicada aleatoriamente es en un área de roca pura, donde no hay hierba y, por lo tanto, no se pueden realizar las actividades.

Todas las parcelas del estudio se georreferenciaron utilizando la aplicación Whatsapp con su sistema de ubicación en tiempo real. Para determinar y anotar la dirección y orientación de las parcelas, se utilizó una aplicación de brújula en el celular y se estableció el centro de cada parcela como punto geográfico para determinar la dirección y orientación de esta (Figura 6).

Figura 6

Esquema de la parcela y subparcelas con la numeración empleada en filas y columnas



Esquina superior derecha (Estudio de las subparcelas siempre inicia aquí)

Se seleccionó la “esquina superior derecha” de cada parcela como el punto de inicio en el establecimiento y orden de estudio de las subparcelas, esta esquina no cambia en las parcelas, esta se establece sin importar la orientación cardinal de la parcela, sin embargo, una vez definida y anotada la orientación cardinal de la parcela desde su parte central, permite dar inicio a la numeración de las subparcelas. De esta forma, la subparcela 1.1 siempre será definida como el punto designado para la “esquina superior derecha” de la parcela donde se inician las evaluaciones. Toda la metodología anteriormente descrita se aplicó de igual forma en todos los sitios de estudio para estandarizar el proceso.

3.3.1.1.4 Análisis de diversidad y abundancia de especies en los sitios de estudio

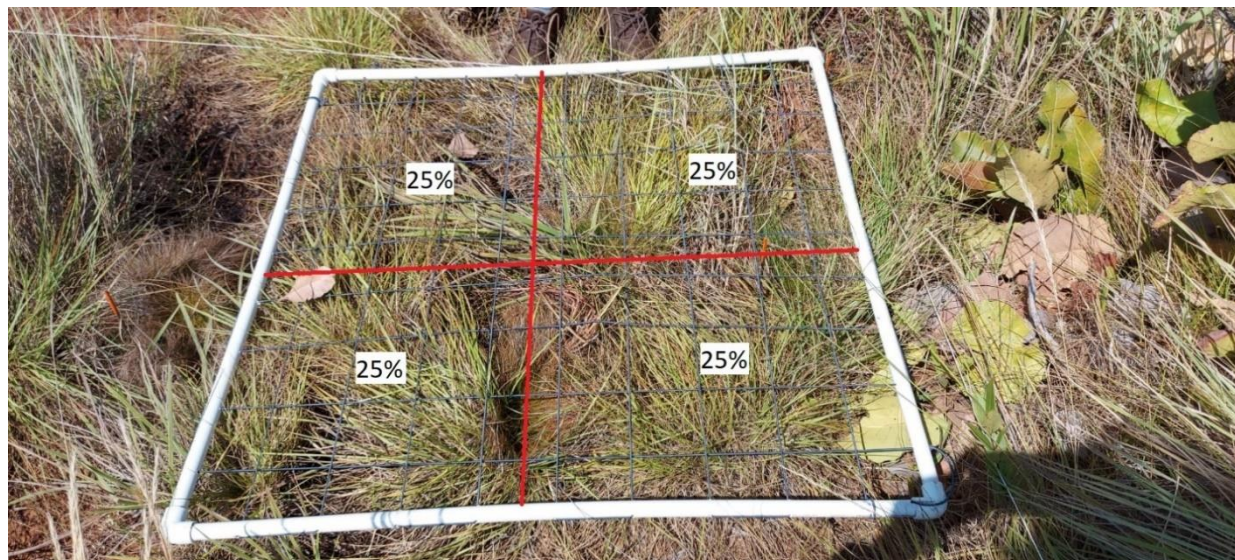
Cada subparcela tiene una medida de 1 x 1 m, y para su análisis se utilizó una cuadrícula de 1 x 1 m (Figura 7), construida con tubos de PVC, la cual se ajusta perfectamente a las dimensiones de cada subparcela, permitiendo una caracterización precisa tanto en condiciones pre como post incendio. Esta cuadrícula posee cuerdas dispuestas horizontal y verticalmente, formando un patrón de líneas espaciadas a 10 centímetros, lo que permitió dividir espacialmente cada subparcela. Este diseño facilitó la observación, análisis y contabilización de las hierbas del estrato herbáceo.

En cada subparcela, se registraron todas las hierbas presentes. Para las forbias o hierbas no gramíneas, se cuantificó el número de individuos utilizando un código de morfotipo específico para cada una y tomando una fotografía correspondiente. Estas fotografías se recopilaron en un catálogo digital, el cual se consultaba en caso de dudas. En el caso de las gramíneas, no se registró la abundancia de forma individual, sino que se estimó su porcentaje de cobertura en cada subparcela de manera general, además, se identificaron las especies presentes en las parcelas de cada sitio de estudio y también se tomaron fotografías de estas para el catálogo digital.

Asimismo, en cada subparcela se estimaron el porcentaje de cobertura de gramíneas, rocas, y área sin vegetación o suelo desnudo, entendiendo este último como el área sin presencia de vegetación ni rocas. Para la obtención de estos porcentajes de cobertura, se utilizó la cuadrícula previamente descrita, la cual, debido a sus características, permitió dividirla imaginariamente en secciones de 25% para facilitar esta tarea (Figura 7).

Figura 7

Cuadrícula de 1 x 1 m utilizada para el análisis del estrato herbáceo en subparcelas de los sitios de estudio



Para las especies de ambas, hierbas no gramínoideas y gramíneas, encontradas en las parcelas en los sitios de estudio, se tomaron muestras vegetales correspondientes a estas fuera de la parcela para su posterior identificación y para determinar la presencia o ausencia de estas entre los sitios. Este material vegetal recolectado se utilizó también para montar un herbario que luego será entregado al Museo Nacional.

3.3.1.1.5 Obtención y conservación de material vegetal para el montaje del herbario

Siempre que fue posible, se recolectó material vegetal fuera de las parcelas de las especies herbáceas encontradas en cada subparcela de las dos parcelas de cada sitio de estudio. Esto se hizo con el fin de facilitar su posterior identificación. Además, dicho material será utilizado para la creación de un herbario, por lo que se procedió a prensarlo para su secado. El producto final será entregado al Museo Nacional, donde formará parte de su colección. Como metodológica de recolección, se realizó lo indicado en Sánchez y González (2007) sobre el proceso de herborización para recolectar especies vegetales herbáceas en el campo. Para prensar el material vegetal, se fabricó dos prensas botánicas haciendo uso de cuatro tablas cuadradas con un agujero en cada esquina, en donde se colocaron

tornillos largos con rosca de mariposa que permite aplicar presión en el material vegetal de manera uniforme para su secado (Figura 8).

Figura 8

Prensa de herbario fabricada para secar las hierbas recolectadas en los sitios de estudio



3.3.1.1.6 Quemias prescritas para evaluar la respuesta de las plantas al fuego

Entre el 21 al 23 de marzo del 2024, se realizaron las quemias de las parcelas en Laguna guayabal y Loma Lito, y los subsecuentes análisis post incendio. Se realizó lo indicado en Molina (2000) sobre las pautas de seguridad necesarias para realizar quemias prescritas. Primero se inició con la contratación de dos personas que realizaron una ronda de un metro (1 m) alrededor de las dos parcelas de Laguna Guayabal y Loma Lito, en total cuatro parcelas (Figura 9 (A y B)).

La ronda se realizó como medida de prevención a la hora de la quema prescrita. Una vez terminadas las rondas de las parcelas, se procedió a quemarlas, se inició con la segunda parcela en Laguna Guayabal, al sitio asistieron varias personas de la brigada de incendios del ACG perteneciente al Programa de Manejo del Fuego.

Los brigadistas asistieron al sitio de la quema con un camión autobomba rural IVECO para el control de fuego, equipado con mangueras de largo alcance y protección contra el fuego como medida de precaución. El día se encontraba un poco ventoso, por lo que se tomó precauciones adicionales haciendo uso de una máquina sopladora de espalda para limpiar aún más las rondas de las parcelas, removiendo así todo material vegetal que se encontraba en las rondas (Figura 9 (C)). Lo anterior fue realizado por un miembro del cuerpo de bomberos forestales que se encontraba en el sitio ayudando con esta actividad. Además de lo anterior, haciendo uso de las mangueras del camión, se humedecieron los alrededores de las parcelas para extremar medidas de seguridad (Figura 9 (D)). Los brigadistas en el sitio permanecieron con estas mangueras alrededor de las parcelas por si se ameritaba el uso de estas.

Una vez preparado el terreno se procedió a realizar la quema de la segunda parcela en Laguna Guayabal a las 10:16 a.m. y terminó a las 10:18 a.m. aproximadamente. La quema prescrita la lideró el brigadista Didi Guadamuz Eras, haciendo uso de un mechero por goteo, el fuego se inició en la esquina contraria donde soplaba el viento, ya que esta esquina de la parcela es la más peligrosa en encender el terreno fuera de la parcela si el fuego se acuesta y extiende debido a la acción del viento (Figura 9 (E)).

Aun cuando se extremó cuidados con estos detalles, esta esquina mencionada anteriormente encendió la parte exterior de la parcela, que fue rápidamente apagada por los brigadistas que están pendientes de la situación. El brigadista con el mechero de goteo, fue poco a poco encendiendo la parcela en sentido contrario a la dirección del viento hasta que la totalidad de la parcela fue quemada.

A las 11:15 a.m. del 21 de marzo del 2024, se inició la quema de la primera parcela en Laguna Guayabal y culminó a las 11:16 a.m. Se realizó toda la metodología de seguridad descrita anteriormente y haciendo uso igualmente del mechero por goteo (Figura 9 (F)). Por otro lado, en el segundo sitio en Loma Lito, la primera parcela se quemó igualmente el 21 de marzo, dando inicio a las 4 p.m. y finalizando a las 4:15 p.m., y la quema de la segunda parcela se inició a las 4 y 25 p.m. y culminó a las 4 y 40 p.m. aproximadamente.

Figura 9

A - Elaboración de la ronda de 1.5 metros de ancho alrededor de una parcela en el primer sitio de estudio en Laguna Guayabal; B - Parcela en el primer sitio de estudio en Laguna Guayabal con ronda alrededor de 1.5 metros de ancho lista para realizar la quema prescrita; C - Brigadista del ACG limpiando la ronda de una parcela en Laguna Guayabal con sopladora de Espalda; D - Brigadista del ACG utilizando una manguera para rociar agua en las inmediaciones fuera de la parcela de la zona más peligrosa; E - Quema de la segunda parcela en Laguna guayabal por parte del brigadista del ACG Didi Guadamuz Eras haciendo uso de un mechero por goteo; F - Quema de la primera parcela en Laguna guayabal por parte del brigadista del ACG Didi Guadamuz Eras haciendo uso de un mechero por goteo



En el tercer sitio de estudio ubicado en Mico Pintado en Bagaces, no se pudo realizar la quema debido a varios factores, por lo que esta actividad no se pudo desarrollar y, por lo tanto, no hay un análisis post incendio correspondiente a este sitio en el trabajo. Debido a lo anterior, con las quemas de las parcelas en Laguna Guayabal y Loma Lito, se culminó esta actividad en los sitios de estudio.

El 24 de abril del 2024, se realizó una inspección en los sitios de Laguna Guayabal y Loma Lito para observar el estado de las parcelas y poder determinar el tiempo adecuado para realizar el estudio

post incendio, ya que toma un tiempo que las especies vegetales presentes en el sitio rebroten y se encuentren lo suficientemente desarrolladas para su análisis.

Entre el 11 al 13 de junio del 2024, se realizó la evaluación post incendio de la vegetación del estrato herbáceo en los dos sitios de estudio donde se realizó las quemas prescritas de las parcelas, esto es en Laguna Guayabal y Loma Lito. Se realizaron las mismas actividades y metodología que en la evaluación pre incendio, esto es el análisis de las subparcelas haciendo uso del cuadrante donde se obtuvo un conteo de especies no gramíneas, identificación de especies gramíneas, obtención de porcentajes de cobertura de gramíneas, área sin vegetación, rocas etc.

3.3.1.2 Análisis de datos.

El análisis de datos de este objetivo se realizó haciendo uso del programa Excel para el ordenamiento de datos y obtención de figuras importantes para la presentación de resultados. Entre las variables a determinar están, la obtención de figuras como la abundancia de especies no gramíneas, abundancia de géneros y de familias encontradas, porcentajes de cobertura de gramíneas en el suelo, porcentaje de cobertura de rocas y área sin vegetación. De estas últimas tres variables, se obtuvieron sus promedios para obtener un dato unificado para realizar las figuras, además, se realizó una clasificación de las especies vegetales del estrato herbáceo identificadas según su hábito de crecimiento en hierbas tipo gramíneas, forbias o no gramíneas, y hierba sufruticosa según las definiciones vistas en Font-Quer (2001) y Vargas (2011b).

Se realizó un registro fotográfico de todas las plantas encontradas en las subparcelas de las parcelas en los sitios de estudio correspondientes a este trabajo con el objetivo de que sirvan de referencia para este objetivo y para facilitar la identificación de las especies. Cada planta encontrada en el campo fue etiquetada para facilitar su identificación posterior. En el caso de las plantas que eran muy similares entre sí y generaban dudas sobre si pertenecían a la misma especie, se etiquetaron como especies nuevas, registrando características distintivas de cada una que ayudarían en su identificación.

Además, se establecieron notas detalladas sobre las plantas similares para que, una vez identificadas, se pudieran unificar los datos de abundancia de aquellas que resultaran ser la misma especie.

Se utilizó el índice de diversidad de Simpson para calcular la diversidad florística de los sitios de estudio en condiciones pre y post incendio. Para realizar este punto, se utilizó el programa estadístico Past 4 en su versión 4.17c de junio del 2024, que utiliza los datos de campo para el cálculo de la diversidad.

Las plantas identificadas se colocaron en hojas de cartulina marca Bristol, se sujetó la planta a la hoja con pegatinas de manera que quede bien firme. Se colocó una etiqueta en la parte inferior derecha de la hoja con datos importantes sobre la colecta como nombre común, nombre científico, lugar de recolección, fecha en la que se realizó la recolección, persona que realizó la colecta y de ser posible, observaciones generales sobre el ejemplar colectado (Jardín Botánico Thays, 2014).

3.3.2 Heterogeneidad espacial de la vegetación del estrato herbáceo en condición pre y post incendio.

3.3.2.1 Técnicas e instrumentos.

En este objetivo, se empleó la técnica de observación para evaluar la abundancia de especies vegetales no gramíneas mediante un conteo visual en cada subparcela. De igual manera, se calculó el porcentaje de cobertura de gramíneas, suelo desnudo y rocas. Este enfoque permitió obtener datos sobre la abundancia y la presencia o ausencia de diversas especies en los sitios de estudio, tanto en condiciones pre incendio como post incendio. Por otro lado, la observación también fue crucial para identificar distintas especies de gramíneas en las parcelas y subparcelas, facilitando así la comparación de la diversidad vegetal de este tipo de hierbas en los sitios de estudio.

La división de las parcelas en subparcelas fue fundamental para el desarrollo de este objetivo. El uso del cuadrante fue indispensable, ya que permitió abordar cada subparcela de manera efectiva y dividirla imaginariamente en sectores, lo que facilitó enormemente el conteo y la identificación de las especies presentes. Este proceso es esencial para determinar la presencia o ausencia de diversas hierbas en las parcelas de los sitios de estudio, lo que, a su vez, es clave para alcanzar el objetivo propuesto.

También se requirió hacer uso de la técnica de observación para la identificación y recolección de material vegetal, tanto de especies no gramíneas como gramíneas fuera de las parcelas que se encontraron en los análisis de las subparcelas dentro de las parcelas, lo anterior con el fin de obtener el material necesario para realizar el proceso de herborización, además se realizaron fotografías para ser usadas como referencia para las especies vegetales encontradas en este trabajo.

Además de la técnica de observación, en este objetivo se hizo uso de la técnica causal-comparativa, ya que se realizó una comparación entre sitios respecto a su heterogeneidad espacial de especies vegetales herbáceas encontradas en condiciones pre y post incendio. Para esta comparación no se tomó en cuenta las gramíneas porque la metodología que se utilizó para su análisis no registra una abundancia individual por especie, sino una abundancia general en porcentaje de cobertura por

subparcela, sin embargo, como se mencionó anteriormente, se realizó una comparación básica de las especies encontradas en cada sitio de estudio.

Para llevar a cabo este segundo objetivo, se utilizaron los mismos instrumentos que en el primero, ya que los resultados de este último fueron fundamentales para determinar la heterogeneidad espacial de la vegetación del estrato herbáceo en condiciones pre y post incendio, específicamente a través de datos sobre la abundancia y la presencia/ausencia de especies entre los sitios de estudio.

3.3.2.2 Análisis de datos.

Para realizar un estudio comparativo sobre la heterogeneidad espacial de la vegetación en cada sitio de estudio en condiciones pre y post incendio, se utilizó el programa estadístico como el Past 4. Este programa utiliza los datos de conteo de especies no graminoide en cada sitio de estudio, tanto en condición pre incendio como post incendio y mediante el índice de Bray-Curtis, que toma en cuenta la abundancia de las especies, así como también la presencia y ausencia de estas en los distintos sitios de estudio, permite generar una figura tipo dendograma que facilita una mejor lectura y comprensión de la disimilitud de la vegetación entre los sitios de estudio.

3.3.3 Fenología de la ciperácea representativa de sabana natural *Bulbostylis paradoxa*.

3.3.3.1 Técnicas e instrumentos.

En este objetivo, se utilizó la técnica de observación y la técnica causal-comparativa para poder realizar las actividades y obtener los resultados. La técnica de observación se utilizó principalmente a la hora de darle seguimiento a la floración post incendio de *la Bulbostylis paradoxa* y determinar el tiempo de floración post incendio. Al tener que quemar los ejemplares de *B. paradoxa* en las parcelas para mostrar los efectos del fuego en su floración, esta sección del trabajo utilizó como técnica de estudio la causal-comparativa, debido a que se busca obtener un efecto como resultado de una causa como lo es en este caso el accionar del fuego sobre la planta.

Como parte de este objetivo, al establecer cada parcela en los sitios de estudio, se aseguró la presencia de al menos diez ejemplares de *Bulbostylis paradoxa*. Se seleccionaron ejemplares con diversas características, como tamaño, cantidad de bulbos por planta y variación entre individuos

juveniles y adultos. Esto permitió evaluar el efecto del fuego sobre los ejemplares en relación con su floración post incendio y la mortalidad de los mismos.

Para facilitar el seguimiento de los ejemplares de *B. paradoxa* en las parcelas en los sitios de estudio, a cada uno de los individuos se le numeró utilizando una moneda de aluminio a la cual previamente, con la ayuda de un clavo, se le dibujó un número del 1 al 10. Además, a cada moneda marcada se le hizo un agujero y se le insertó un alambre para colgarse en un pequeño trozo de varilla de construcción pintada con spray anaranjado fosforescente colocado junto a cada planta seleccionada. El marcaje de las *B. paradoxa* usando el método anterior para darles seguimiento, se realizó el 20 de marzo, fecha previa a la quema de las parcelas.

En este objetivo, en condición pre incendio, se realizaron mediciones del diámetro de las *B. paradoxa* en seguimiento haciendo uso de sus hojas como medio, para ello, se utilizó una cinta métrica suave de costura (Figura 10). Las mediciones se llevaron a cabo en forma de "X" respecto al eje central de la planta en aquella con un solo bulbo o eje de floración, para aquellos ejemplares con múltiples ejes de floración, se calculó el centro de la planta visualmente para realizar las mediciones. Se obtuvo un promedio de estas dos mediciones para obtener un único valor que sirva para determinar el diámetro de la planta. Además, se promediaron todas las medidas de cada ejemplar de *B. paradoxa* en seguimiento en las parcelas de los sitios de estudio para compararlos con los resultados obtenidos en las mediciones en condición post incendio.

Figura 10

Mediciones en "X" para obtener el diámetro de los ejemplares de *B. paradoxa* haciendo uso de una cinta métrica suave.



Antes de llevar a cabo las quemas de las parcelas, en relación con este tercer objetivo, se evaluó el estado de floración de los ejemplares de *Bulbostylis paradoxa* en seguimiento para determinar si

presentaban floración en condiciones pre incendio. Se tuvo especial cuidado en asegurarse de que los ejemplares no mostraran floración ni indicios de ella, garantizando así que todos estuvieran en igualdad de condiciones al momento de la quema de las parcelas

A partir del 21 de marzo del 2024, día que se realizó la quema prescrita en las parcelas, se inició el seguimiento de cada individuo de *B. paradoxa* marcado para futuras evaluaciones. Utilizando como base la hora en que se realizó la quema de las parcelas, se realizó un seguimiento y análisis en determinados espacios de tiempo. El primer seguimiento se realizó a las doce (12) horas, el segundo a las veinticuatro (24) horas y el tercero a las cuarenta y ocho (48) horas. Para el seguimiento de las *B. paradoxa*, fue en el análisis de las 24 y 48 horas, donde se realizó el análisis y conteo de flores, puesto que fue en este periodo de tiempo, donde la floración se notaba lo suficiente para poder realizar el conteo manual de cada flor de una forma más precisa.

En relación con la floración de *Bulbostylis paradoxa* en las parcelas, se observó que algunos ejemplares presentaban un desarrollo de la floración inferior en comparación con otros en el mismo intervalo de análisis, ya sea el correspondiente a las 24 o 48 horas. Por esta razón, se establecieron dos etapas diferentes para clasificar el estado de la floración. La primera etapa se denomina "indicios de floración" y se aplica a aquellas plantas donde apenas se comienza a notar la floración en los ejes de floración o bulbos de la planta; en este caso, no se consideraron como flores bien formadas en el momento del análisis.

La segunda etapa es "floración parcial". En esta etapa, aunque la floración es evidente, es muy pobre y poco desarrollada, por lo que tampoco se considera como flores bien formadas para ser incluidas en el conteo de floración. Es importante destacar que estas etapas de floración aún se consideran como parte del proceso general de floración. Sin embargo, sirven para cuantificar las diferencias en el desarrollo de la floración de *B. paradoxa* entre los distintos sitios de estudio y entre plantas en un momento determinado de los análisis realizados.

En la última gira del 11 de junio de 2024, se volvieron a medir las hojas de los ejemplares de *B. paradoxa* en seguimiento en condiciones post incendio. Esta fecha fue elegida en función del estado del rebrote de las hojas observado en las inspecciones posteriores a la quema de las parcelas, realizadas con la ayuda del brigadista Didi Guadamuz Eras. Durante estas inspecciones, se evaluó el estado general de las hierbas en las parcelas para los análisis post incendio, pero también se prestó especial atención al rebrote de las hojas de *Bulbostylis paradoxa*. El objetivo era asegurar que las hojas de esta planta estuvieran lo suficientemente desarrolladas para permitir mediciones satisfactorias durante la gira. Al

igual que en las mediciones pre incendio, se promediaron los resultados obtenidos para ser utilizados en las comparaciones con los datos pre incendio.

En fechas posteriores a la quema de las parcelas, el 19 de abril del 2024, ocurrió un incendio en Laguna Guayabal donde se encuentran ambas parcelas de este sitio (Figura 11). Este incendio tuvo una afectación bastante importante en este sitio, quemando aproximadamente 109,99 hectáreas (Anexo 4). Las parcelas quedaron intactas debido a las rondas que se les había hecho previamente, sin embargo, toda la zona alrededor de las parcelas se quemó.

Figura 11

Incendio ocurrido el 19 de abril del 2024 en el primer sitio de estudio en Laguna Guayabal fuera de las parcelas



Nota: Fuente Didi Guadamuz Eras.

Debido a este suceso, en la gira del 24 de abril del 2024, aprovechando esta situación, cerca de las parcelas, se realizaron dos transectos de cincuenta metros de largo cada uno en donde se contabilizó a metro y medio en ambos lados del transecto el número de *B. paradoxa* con el fin de evaluar la floración post incendio y, además, el índice de mortalidad entre los ejemplares. Para la realización de

este transecto se utilizó una cinta métrica de 50 metros y se contó con la colaboración del brigadista Didi Guadamuz Eras para evaluar los datos anteriormente mencionado a ambos lados de cada transecto.

En la última gira realizada el 11 de junio del 2024, se obtuvo el dato final de la mortalidad de los ejemplares de *B. paradoxa* en seguimiento en las parcelas de los sitios de estudio, esto debido a que algunos ejemplares que parecían muertos al principio, sobrevivieron y se evidenció en giras posteriores, por lo que los resultados de la mortalidad expuestos en este trabajo son producto de lo observado en el último análisis de este trabajo, por lo que son más exactos que los resultados obtenidos al principio del estudio.

3.3.3.2 Análisis de datos.

El análisis de datos en este objetivo se realizó esencialmente con el programa Excel para la elaboración de cuadros y figuras que permitan mostrar los resultados de una forma fácil de comprender, además de poder realizar comparaciones con los resultados obtenidos entre los sitios de estudio. Las variables analizadas referentes a la *Bulbostylis paradoxa* que se manejaron y evaluaron para realizar este objetivo figuran variables cuantitativas como las medidas del diámetro por medio de las hojas en condición pre y post incendio y su promedio, número de flores por sitio de estudio en los análisis de 24 y 48 horas y el promedio de flores por eje de floración o bulbo en las plantas con floración en los análisis de 24 y 48 horas, esto incluye las plantas con estados de floración tardía y poco desarrollada que se dividieron en indicios de floración y floración parcial.

Se utilizó el programa estadístico Past 4 en su versión 4.17c de junio del 2024 para realizar análisis de significancia en algunas de los datos presentados en esta sección, se utilizaron modelos estadísticos univariados como pruebas t de dos muestras (variables independientes) y pruebas t de dos muestras emparejadas (Variables dependientes). Además, se realizó pruebas t de Welch para comparar muestras con tamaños diferentes y en algunos casos, se aplicó la medida de Cohen's D para determinar el tamaño del efecto en resultados específicos.

Finalmente se realizó una caracterización general de la planta que incluye variables como características de su fenología y morfología que la convierten en una especie única e interesante. Para realizar lo anterior, se realizó un registro fotográfico de la anatomía de la *B. paradoxa* que incluye cortes transversales y horizontales, además, se realizó un estudio bibliográfico de esta planta para comparar los resultados de estudios de otros autores sobre esta planta con los obtenidos en este trabajo.

IV. Resultados

4.1 Estudio de Composición Florística del Estrato Herbáceo en Condiciones Pre y Post Incendio

4.1.1 Especies herbáceas no graminoides o forbias encontradas en los sitios de estudio en condición pre y post incendio.

El estudio de la riqueza florística en todos los sitios de estudio, tomando en cuenta ambas condiciones, pre y post incendio, dio como resultado la identificación de diez familias de plantas, diecinueve géneros y veinticinco especies. En el Anexo 5, se muestran las fotografías tomadas en el campo de estas veinticinco especies de hierbas, ordenadas alfabéticamente por su nombre científico junto con su familia. En el Anexo 6, se muestra una de las veinticinco especies, previamente prensada, y montada en el formato para un herbario.

Del total de especies, veintiuna están completamente identificadas desde la especie hasta la familia, las cuatro especies restantes se catalogaron como morfoespecies ya que se identificaron de forma parcial, una posee familia y género (Morfoespecie 1), dos poseen solo familia (Morfoespecie 2 y 3) y la última (Morfoespecie 4) fue imposible de identificar por encontrarse en un estado muy temprano de desarrollo, con poca madurez en sus partes reproductivas, lo que imposibilitó su correcta identificación (Cuadro 1).

Cuadro 1

Presencia/ausencia de especies de hierbas no gramíneas o forbias encontradas en los sitios de estudio en condición pre y post incendio

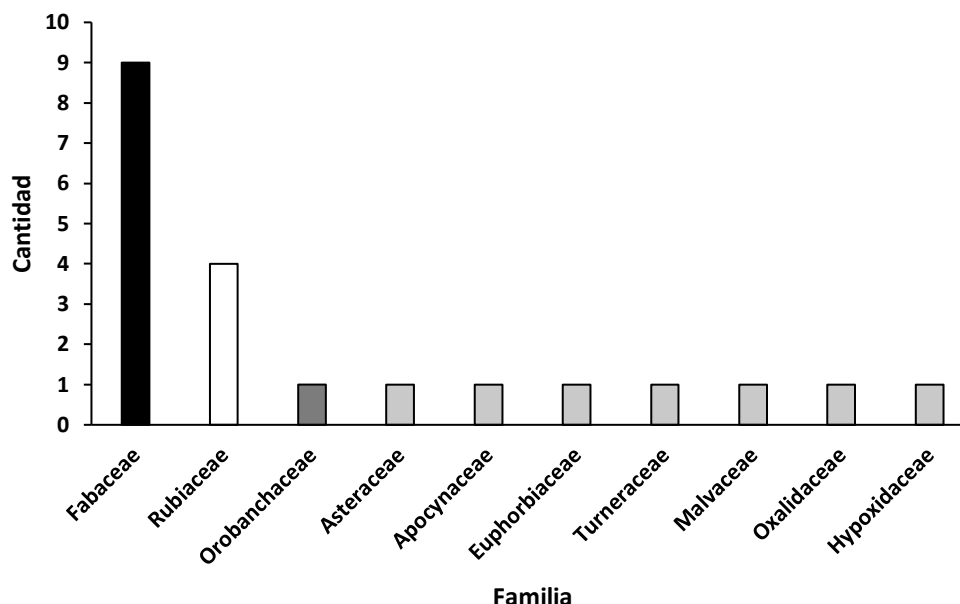
Sitios

Especies	Laguna Guayabal		Loma Lito		Mico Pintado	
	Pre incendio	Post Incendio	Pre incendio	Post incendio	Pre incendio	Post incendio
<i>Stylosanthes scabra</i>	X	X	X	X		
<i>Declieuxia fruticosa</i>	X	X	X	X		
<i>Spermacoce verticillata</i>	X	X	X	X	X	
<i>Clitoria guianensis</i>	X	X	X	X		
<i>Eriosema crinitum</i>	X	X	X	X		
<i>Buchnera weberbaueri</i>	X					
<i>Chamaecrista hispidula</i>	X	X	X	X		
<i>Spermacoce sp (Morfoespecie 1)</i>	X	X				
<i>Ayapana amigdalina</i>		X	X	X		
<i>Chamaecrista flexuosa</i>			X			
<i>Metastelma liesnerianum</i>			X	X	X	
<i>Morfoespecie 2</i>			X			
<i>Helicotropis linearis</i>			X	X		
<i>Croton ovalifolius</i>			X			
<i>Sida ciliaris</i>			X		X	
<i>Morfoespecie 3</i>			X	X		
<i>Hexasepalum teres</i>					X	
<i>Oxalis frutescens</i>		X		X	X	
<i>Turnera diffusa</i>		X		X	X	
<i>Diodia apiculata</i>		X			X	
<i>Centrosema angustifolium</i>		X				
<i>Zornia gemella</i>		X				
<i>Curculigo scorzonerifolia</i>		X		X		
<i>Morfoespecie 4</i>		X		X		
<i>Stylosanthes viscosa</i>					X	

Entre el total de familias encontradas en este estudio en condiciones pre y post incendio, la familia Fabaceae (9 especies.), es la que posee mayor riqueza seguida por la familia Rubiaceae con (4 especies.) (Figura 12).

Figura 12

Riqueza total de especies por familia en condición pre y post incendio de los sitios de estudio

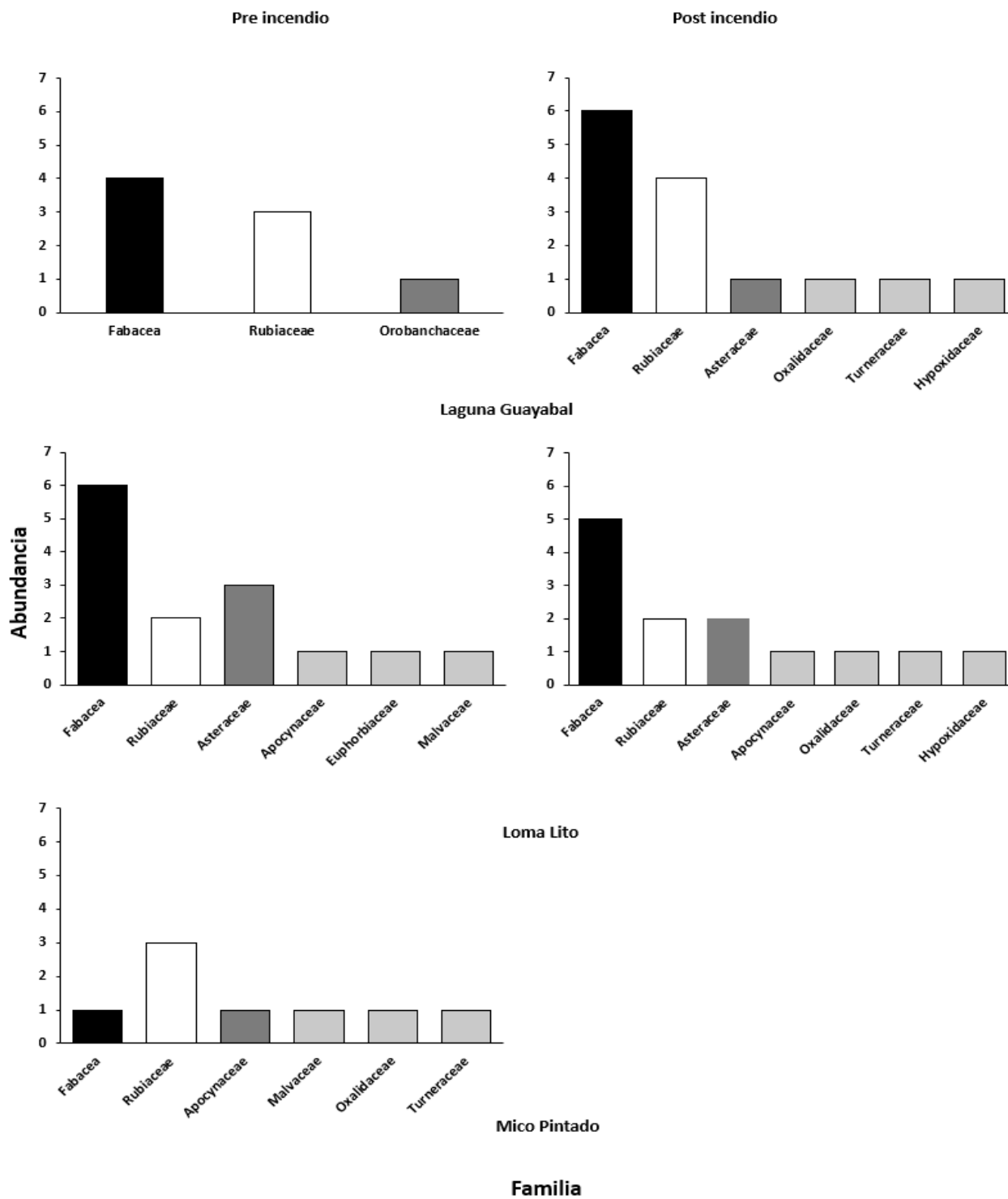


La diversidad de familias en Laguna Guayabal aumentó en condiciones post incendio pasando de tres familias en condición pre incendio a seis. En Loma Lito también aumento la diversidad, aunque en menor cantidad, pasando de seis familias en condición pre incendio a siete en condición post incendio. También se puede apreciar que en condición pre y post incendio, Loma Lito posee mayor riqueza de familias de hierbas no gramíneas que Laguna Guayabal, pero posee la misma que Mico Pintado en condición pre incendio (Figura 13).

En Laguna Guayabal, la riqueza de especies por familia aumentó en condición post incendio, destacando las familias Fabaceae y Rubiaceae. En Loma Lito, por otro lado, hubo una ligera disminución en Fabaceae y Asteraceae, mientras que Rubiaceae y Apocynaceae se mantuvieron constantes. La familia Fabaceae mostró el mismo número de especies en Laguna Guayabal post incendio y Loma Lito pre incendio (6), pero Laguna Guayabal post incendio tuvo el mayor número de especies de Rubiaceae (4). Mico Pintado pre incendio tuvo la segunda mayor cantidad de especies de Rubiaceae, empatando con Laguna Guayabal en condición pre incendio, pero por debajo de Laguna Guayabal en condición post incendio.

Figura 13

Riqueza de especies por familia de hierbas no gramínoideas en condiciones pre y post incendio por sitio de estudio



4.1.2 Identificación de las hierbas no gramíneas encontradas en los sitios de estudio y el hábito más abundante entre estas.

De acuerdo al hábito de crecimiento de las especies identificadas, en el Cuadro 2, se puede observar que la hierba sufruticosa (HS) es el hábito dominante con catorce especies que representa el 70% del total de especies, dejando al hábito de hierba no gramínea (H) y el bejuco (B) en un empate con tres especies cada uno, lo que corresponde al 30% restante.

Cuadro 2

Especies herbáceas de los sitios de estudio. Clasificación del hábito de crecimiento de cada especie identificada. H = Hierba no gramínea o forbia, HS = Hierba sufruticosa, B = bejuco.

Familia	Especie	Hábito
Apocynaceae	<i>Metastelma liesnerianum</i>	B
Asteraceae	<i>Ayapana amigdalina</i>	HS
Euphorbiaceae	<i>Croton ovalifolius</i>	H
Fabaceae	<i>Centrosema angustifolium</i>	B
Fabaceae	<i>Chamaecrista flexuosa</i>	HS
Fabaceae	<i>Chamaecrista hispidula</i>	HS
Fabaceae	<i>Clitoria guianensis</i>	HS
Fabaceae	<i>Eriosema crinitum</i>	HS
Fabaceae	<i>Helicotropis linearis</i>	B
Fabaceae	<i>Stylosanthes scabra</i>	HS
Fabaceae	<i>Stylosanthes viscosa</i>	HS
Fabaceae	<i>Zornia gemella</i>	HS
Hypoxidaceae	<i>Curculigo scorzonifolia</i>	H
Malvaceae	<i>Sida ciliaris</i>	HS
Orobanchaceae	<i>Buchnera weberbaueri</i>	H
Oxalidaceae	<i>Oxalis frutescens</i>	HS
Rubiaceae	<i>Diodia apiculata</i>	HS
Rubiaceae	<i>Declieuxia fruticosa</i>	HS
Rubiaceae	<i>Hexasepalum teres</i>	HS
Rubiaceae	<i>Spermacoce verticillata</i>	HS
Turneraceae	<i>Turnera diffusa</i>	HS

Nota: H (Hierba no gramínea o forbia): Planta herbácea que no pertenece a la familia de las gramíneas, caracterizada por su gran diversidad. HS (Hierba sufruticosa): Hierba que presenta características de arbusto bajo, con tallos lignificados en la base y herbáceos en el resto de la planta. B (Bejuco): Planta trepadora o liana, generalmente con tallos delgados y flexibles, que se sujetan a otras plantas o estructuras para crecer.

Nota 2: Morfoespecie 1 (Rubiaceae/Spermacoce), Morfoespecie 2 (Asteraceae), Morfoespecie 3 (Asteraceae) y Morfoespecie 4 (N/A) no se incluyen en este cuadro debido a la imposibilidad en su completa identificación, por lo que es a su vez imposible indicar de forma eficaz su hábito.

4.1.3 Especie herbácea no graminoide más abundante en los análisis pre y post incendio en los sitios de estudio.

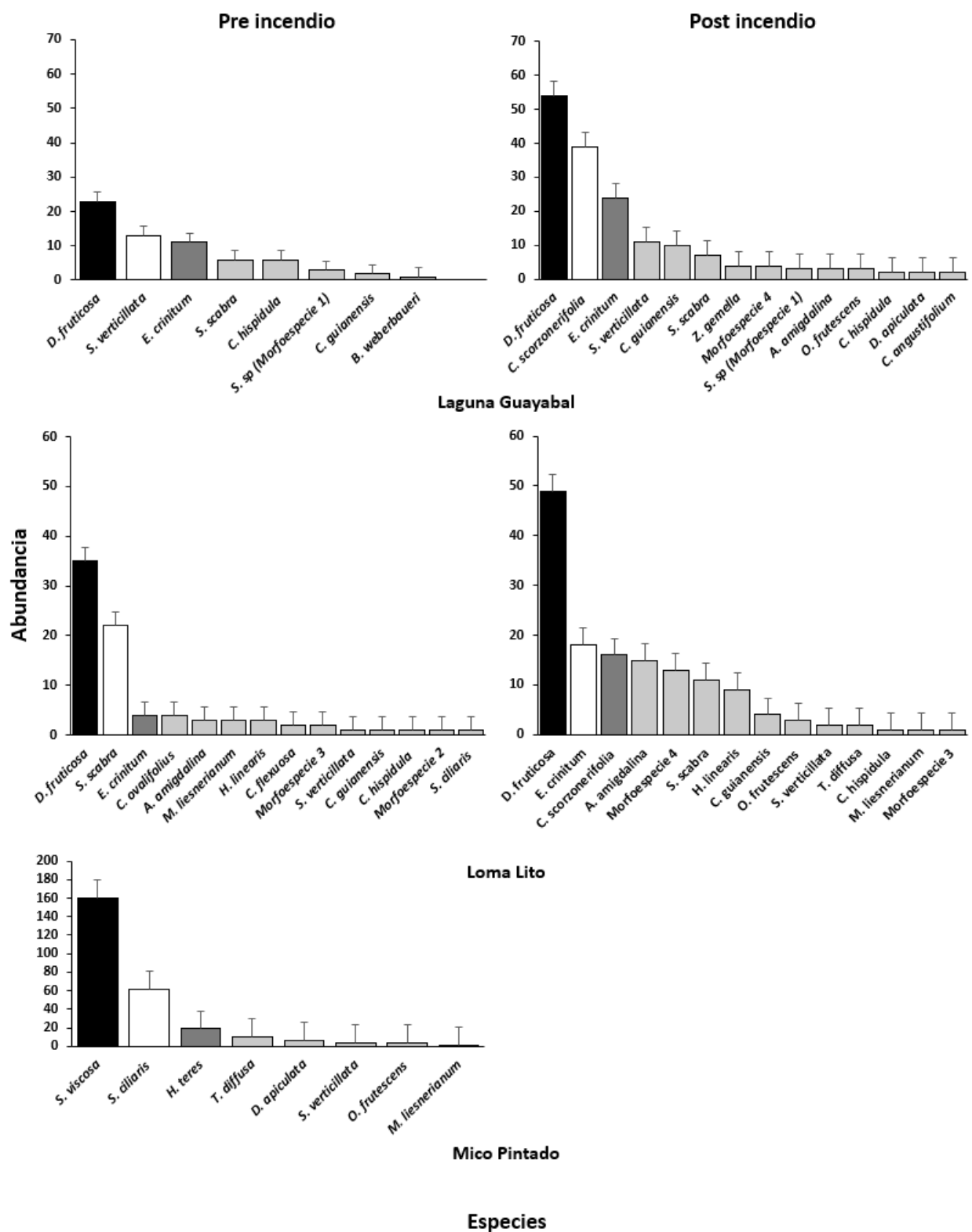
En Laguna Guayabal (Figura 14), en condición pre incendio, la especie más abundante era *Declieuxia fruticosa* con 23 ejemplares, seguida de *Spermacoce verticillata* (13 ejemplares) y *Eriosema crinitum* (11 ejemplares). En condición post incendio, *Declieuxia fruticosa* siguió siendo la especie dominante, pero su abundancia aumentó a 54 ejemplares. La segunda especie más abundante cambió a *Curculigo scorzonerifolia* (39 ejemplares), mientras que *Eriosema crinitum* mantuvo el tercer lugar, con su abundancia más que duplicada, alcanzando 24 ejemplares. En el segundo sitio en Loma Lito (Figura 14), el estudio pre incendio indicó que la especie *Declieuxia fruticosa* es la más abundante y dominante sobre las otras especies herbáceas con un conteo de 35 ejemplares. En el segundo puesto de abundancia, se encuentra la especie *Stylosanthes scabra* con un conteo de 22 especímenes. Por último, el tercer puesto a la especie más abundante es compartido por las especies *Croton ovalifolius* y *Eriosema crinitum* con 4 especímenes cada una.

En el estudio post incendio en Loma Lito, muestra que la especie más abundante y dominante corresponde de igual manera para la especie *Declieuxia fruticosa*, pero con una abundancia mayor que la mostrada en el estudio pre incendio con 49 especímenes. El segundo puesto de la especie más abundante es para la especie *Eriosema crinitum* con un conteo de 18 ejemplares. El tercer y cuarto puesto corresponde a las especies *Curculigo scorzonerifolia* y *Ayapana amigdalina* con un conteo de 16 y 15 respectivamente. En este caso, la diferencia en las abundancias luego del primer puesto no es muy notable, ya que incluso el quinto y sexto puesto está por detrás del cuarto por muy poca diferencia. Debido a que en el tercer sitio en Mico Pintado solo puedo realizar el estudio pre incendio, solo se analizará los resultados obtenidos del estudio del estrato herbáceo en esta condición. Dicho lo anterior, en el estudio pre incendio, los resultados muestran que la especie con mayor abundancia es *Stylosanthes viscosa* con un conteo de 160 especímenes, en notable recalcar que esta cantidad representa el 60% de todas plantas contabilizadas en este tercer sitio y también corresponde a la especie con mayor abundancia en todos los sitios de estudio con diferencia.

En el segundo puesto en mayor abundancia se encuentra la especie *Sida ciliaris* con 62 ejemplares que también corresponde a unas de las hierbas con mayor abundancia en este trabajo solo por debajo del primer puesto en este mismo sitio de estudio (Figura 14).

Figura 14

Abundancia de especies junto su error estándar en los sitios de estudio en condición pre y post incendio



4.1.4 Diversidad de especies herbáceas calculada en base al índice de Simpson en condiciones pre y post incendio en los sitios de estudio.

Según el Índice de Simpson (Cuadro 3), la diversidad florística en los sitios estudiados aumentó tras el incendio, este índice trabaja con una escala de 0 a 1, donde valores cercanos a 0 corresponden a baja diversidad y valores cercanos a 1 evidencia alta diversidad. Según lo anterior, el sitio más diverso corresponde a Loma Lito en condición post incendio, en este sitio, la diversidad pre incendio era 0,7505 y post incendio aumentó a 0,8339, mostrando un aumento en la diversidad. El segundo sitio más diverso corresponde a Laguna Guayabal igualmente en condición post incendio, el cual aumento de 0,7981 pre incendio a 0,8152.

En Mico Pintado, aunque no se realizó un estudio post incendio, la diversidad pre incendio fue de 0,5786, siendo la más baja de los tres sitios analizados (Cuadro 3).

Cuadro 3

Riqueza de especies por sitio de estudio con el Índice de diversidad de Simpson en el programa Past 4.

Variables/Índices	Guayabal Pre incendio	Guayabal Post incendio	Loma Lito pre incendio	Loma Lito post incendio	Mico Pintado Pre incendio
Riqueza de especies	8	14	14	14	8
Individuos	65	168	83	145	266
Índice de dominancia	0,2019	0,1848	0,2495	0,1661	0,4214
Índice de Simpson 1-D	0,7981	0,8152	0,7505	0,8339	0,5786

Según los resultados anteriores, se realizó una prueba t de diversidad para saber si los resultados del índice de Simpson sobre el aumento en la diversidad en los sitios de estudio en condición post incendio fue significativo en relación a la diversidad en condición pre incendio. Para Laguna Guayabal, el p-valor de la prueba t es de 0,4792 lo que indica que no hay significancia estadística, en el caso de Loma Lito, el p-valor de la prueba t es de 0,041301 lo que indica una significancia estadística. Estos resultados

indican que, aunque en Laguna Guayabal no muestra un cambio significativo, en Loma Lito se evidencia un aumento notable en la diversidad tras la quema.

4.1.5 Variedad de gramíneas y ciperáceas encontradas en los sitios de estudio.

En el Anexo 7 y 8, se pueden observar las fotografías obtenidas en el campo de las especies de gramíneas y ciperáceas encontradas en los sitios de estudio respectivamente.

En el cuadro 4, se enlistan la variedad de especies de gramíneas y ciperáceas encontradas en los tres sitios de estudio, se puede evidenciar cómo Laguna Guayabal es el sitio que posee mayor representatividad de las especies encontradas con seis de estas presentes en este sitio, seguido de Loma Lito con cinco especies en común y por último Mico Pintado con cuatro especies.

Cuadro 4

Presencia/ausencia de especies de gramíneas y ciperáceas en condición pre y post incendio en los sitios de estudio

Gramínea	Laguna Guayabal	Loma Lito	Mico Pintado
<i>Aristida sp</i>	X		
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	X	X	
<i>Schizachyrium sanguineum</i>	X	X	
<i>Thrasya robusta</i>	X	X	X
Ciperácea			
<i>Fimbristylis complanata</i>			X
<i>Rhynchospora globosa</i>	X	X	X
<i>Bulbostylis paradoxa</i>	X	X	X

Nota: Las especies en Mico Pintado corresponden únicamente a especies encontradas en el sitio en condición pre incendio.

4.1.6 Cobertura de vegetación a nivel del suelo en condiciones pre y post incendio.

4.1.6.1 Variación del porcentaje de cobertura de gramínea.

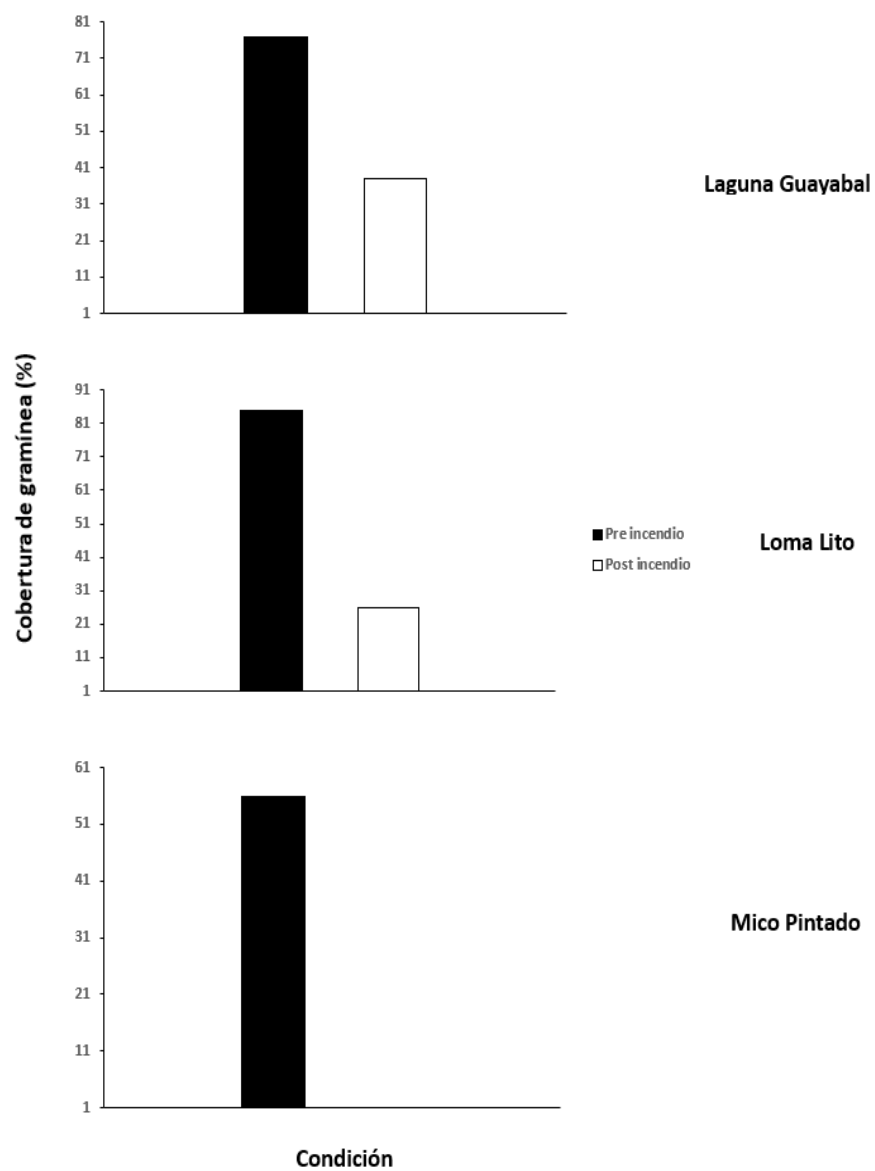
Según lo visto en los sitios de estudio, las gramíneas son las plantas que dominan el estrato herbáceo, haciendo que estas se conviertan en el principal combustible presente en los tres sitios de estudio. El porcentaje promedio de cobertura de gramíneas en el suelo en condición pre incendio en los sitios de estudio fue de 77% para Laguna Guayabal, 85,40% para Loma Lito y 56% para Mico Pintado, estos números evidencia la gran cobertura que poseen los pastos en este ecosistema antes de una perturbación como lo es un incendio, sobre todo Loma Lito que muestra el mayor porcentaje promedio de cobertura.

Por otro lado, los resultados muestran para el caso de las gramíneas, una reducción en su porcentaje de cobertura en las parcelas de los sitios de estudio en condiciones post incendio. En la Figura 15, se puede observar que para todos los sitios donde se realizó la quema prescrita, obviamente ocurre una disminución considerable en los porcentajes de cobertura de gramíneas obtenidos en los resultados de los análisis de las parcelas en condiciones post incendio.

En Laguna Guayabal, hay una disminución considerable de la cobertura de gramíneas en las parcelas, pasando de 77% de cobertura a 38% en condiciones post incendio, en Loma Lito por su parte, también hubo una disminución considerable, pasando de 85% de cobertura de gramíneas a tan solo 26% luego de la acción del fuego. En el tercer sitio, en Mico Pintado, no se realizó la quema prescrita por lo que no se puede analizar el cambio en el porcentaje de cobertura de gramíneas post incendio, sin embargo, los análisis muestran la tendencia de poseer un alto porcentaje de cobertura de gramínea en condiciones pre incendio al igual que los otros sitios.

Figura 15

Porcentaje promedio de cobertura de gramíneas en parcelas en condiciones pre y post incendio

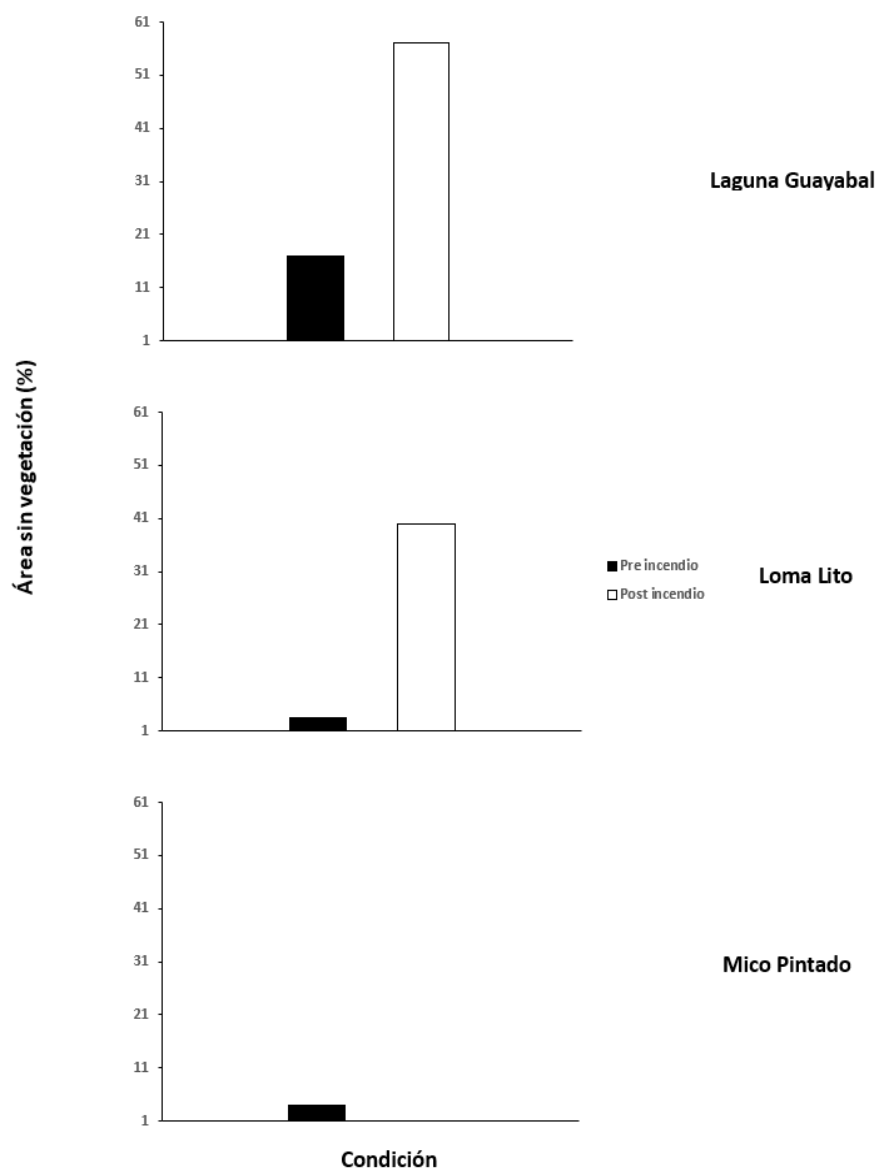


4.1.6.2 Variación del porcentaje del área sin vegetación (suelo desnudo).

Los resultados muestran que la cobertura de gramíneas en el suelo disminuye significativamente después del fuego, dejando la superficie expuesta (Figura 16). Antes del incendio, el porcentaje de área sin vegetación era bajo en todos los sitios de estudio: Laguna Guayabal tenía 17%, Mico Pintado 4% y Loma Lito 3.38%. Después del incendio, se observó un aumento notable de área sin vegetación: en Laguna Guayabal pasó de 17% a 57%, en Loma Lito de 3.38% a 40%, mientras que, en Mico Pintado, donde no se realizaron quemadas, no se pudo obtener datos post incendio.

Figura 16

Porcentaje promedio de área sin vegetación en parcelas en condiciones pre y post incendio

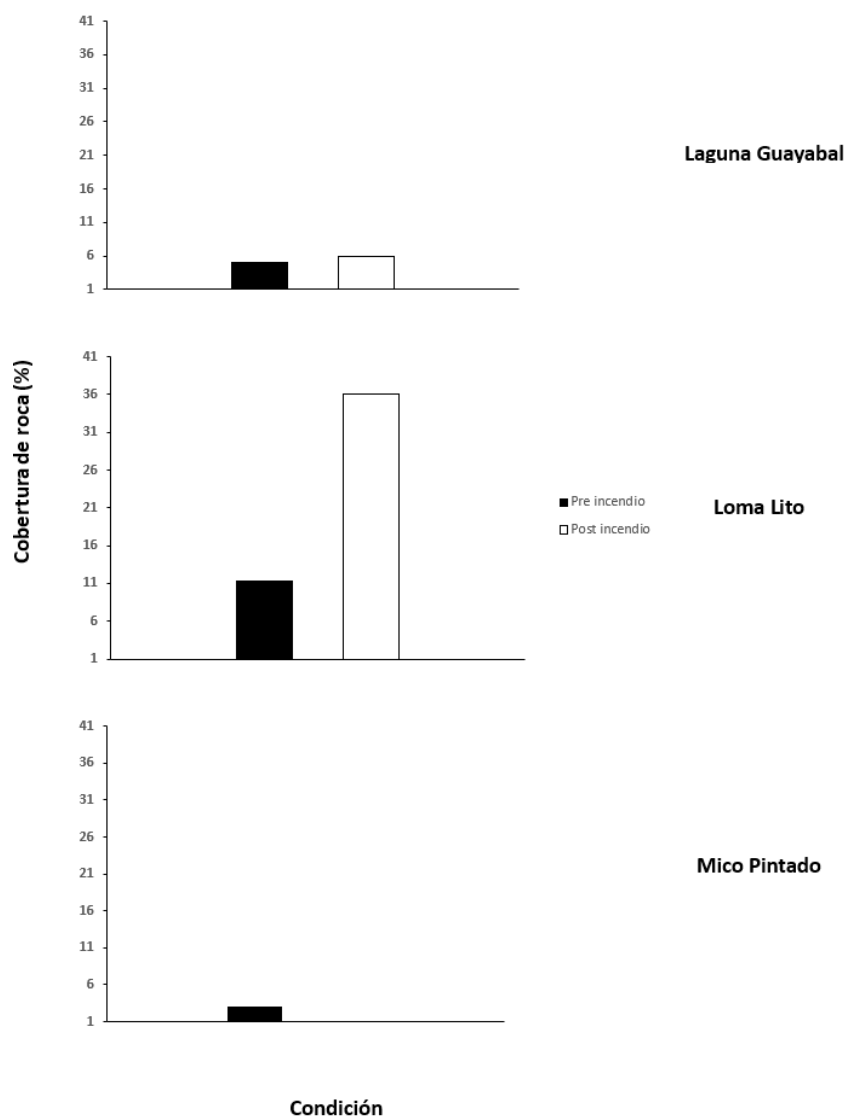


4.1.6.3 Variación del porcentaje de cobertura de roca.

Los resultados muestran que el porcentaje de cobertura promedio de rocas en las parcelas de los sitios de estudio es inferior en condición pre incendio. Los valores son bastante bajos en todos los sitios, siendo Loma Lito el que presenta valores mayores con 11,28%, seguido de Laguna Guayabal con 5% y finalmente Mico Pintado con tan solo 3%. En relación al porcentaje de cobertura de rocas en las parcelas de los sitios de estudio, en la Figura 17, se observa que existen un aumento en los porcentajes de cobertura de las rocas en el suelo en condiciones post incendio, esto desde un punto de vista del aumento en su visibilidad.

Figura 17

Porcentaje promedio de cobertura de rocas en parcelas en condiciones pre y post incendio



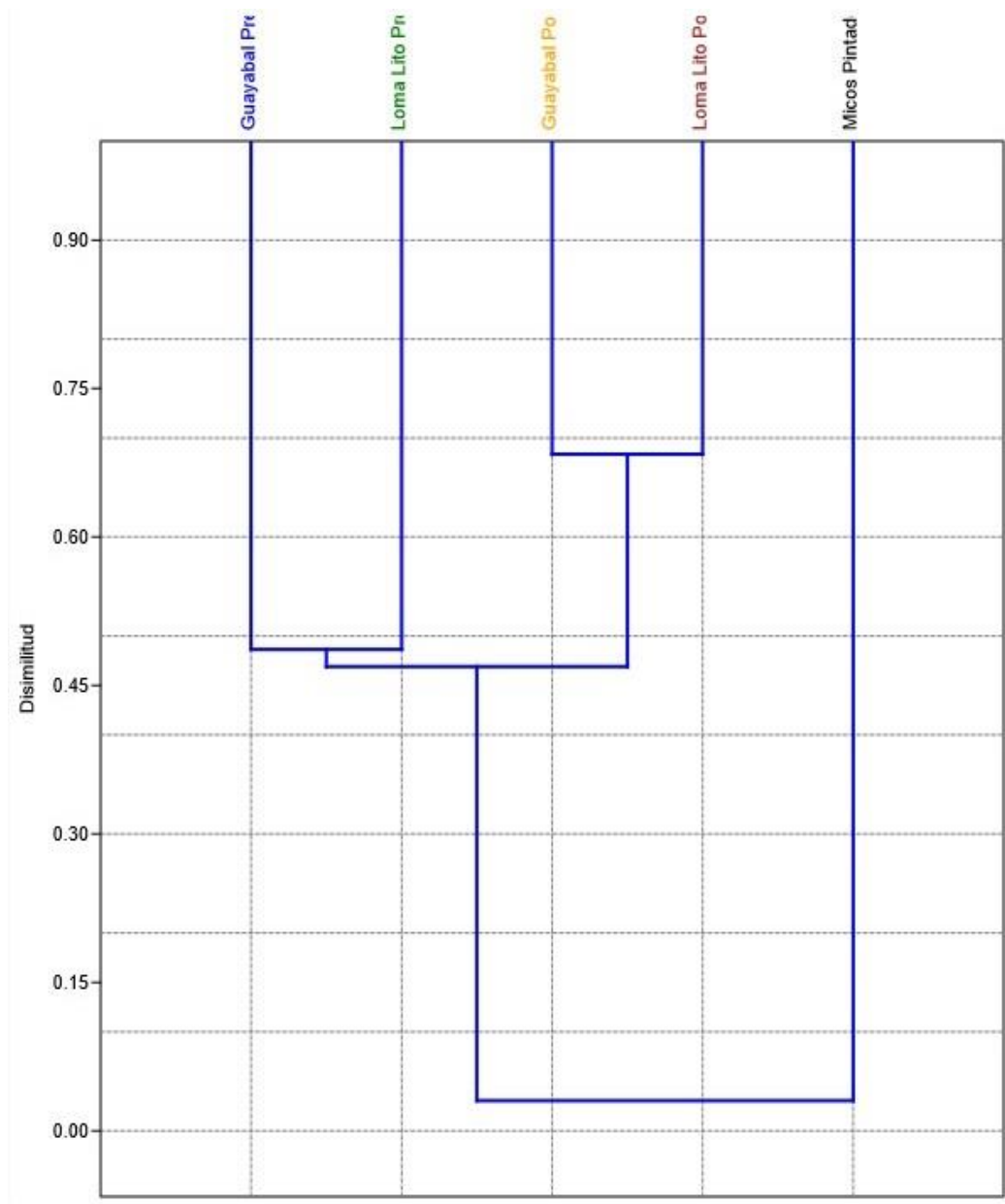
En el caso del primer sitio en Laguna Guayabal, el porcentaje prácticamente se mantuvo en condiciones post incendio, pasando de 5% en condición pre incendio a 6% post incendio, sin embargo, el mayor aumento del porcentaje de cobertura de rocas en las parcelas en condicione post incendio se puede apreciar en el segundo sitio en Loma Lito, en el cual, pasó de 11,28% en condición pre incendio a 36% post incendio. En el tercer sitio en Mico Pintado, al no realizarse la quema de las parcelas, el análisis post incendio es imposible, sin embargo, los resultados muestran que existe una semejanza con los otros sitios, esto es, un bajo porcentaje de cobertura de rocas en condición pre incendio.

4.2 Heterogeneidad Espacial de la Vegetación del Estrato Herbáceo en Condición Pre y Post Incendio

El dendograma de la Figura 18, indica que existe heterogeneidad espacial de la vegetación entre los sitios de estudio. Este dendograma se realizó haciendo uso del Índice de diversidad de Bray-Curtis que utiliza tanto la abundancia como la presencia/ausencia de especies de plantas en cada sitio para realizar la comparación. En la figura 24, se evidencian cuatro agrupamientos con diferentes niveles de disimilitud, por un lado, se encuentra un agrupamiento compuesto por los sitios Laguna Guayabal y Loma Lito en condición pre incendio, luego, otro agrupamiento compuesto por Laguna Guayabal y Loma Lito en condición post incendio, seguido de estos, hay un tercer agrupamiento que está compuesto por los dos agrupamientos anteriores y, por último, el cuarto agrupamiento, que está compuesto únicamente por el sitio de estudio en Mico Pintado.

Figura 18

Heterogeneidad espacial de la vegetación herbácea entre los sitios de estudio en condiciones pre y post incendio



4.3 Fenología de la Ciperácea Representativa de Sabana Natural *Bulbostylis paradoxa*

4.3.1 Características morfológicas de las partes de la *B. paradoxa*.

La gramínea *Bulbostylis paradoxa* es una planta muy particular con características morfológicas que le hacen especial. Al ser una gramínea, sus hojas son alargadas con venación horizontal, sus hojas son delgadas y se observaron que la mayoría de ejemplares en el campo poseen hojas de color verde (Figura 19 (A)), sin embargo, se encuentran varios ejemplares en los sitios de estudio que poseen tonalidades que varían entre el amarillo y anaranjado (Figura 19 (B)).

En lo que respecta a la floración, las flores de la *B. paradoxa* son muy peculiares, puesto que incluso antes de emerger debido a la estimulación por el fuego, estas se logran apreciar en el eje de floración de la planta. En la Figura 19 (C y D), se puede observar en los círculos y flechas de color rojo las estructuras florales predisuestas que parecen incrustadas en el eje de floración de la planta listas para desarrollarse y emerger con el estímulo del fuego.

Figura 19

A - Gramínea *Bulbostylis paradoxa* con hojas con coloración verde; B - Gramínea *Bulbostylis paradoxa* con hojas con coloración amarilla/naranja; C - Flores predisuestas en el eje de floración o cáudice de la gramínea *B. paradoxa* en condiciones pre incendio; D - Flores predisuestas en el eje de floración o cáudice de la gramínea *B. paradoxa* en condiciones pre incendio



Las flores de *B. paradoxa* al emerger gracias al estímulo del fuego, poseen una tonalidad amarillo claro (Figura 20 (A)), con el paso del tiempo, el escapo de la flor aumenta en longitud y se logra apreciar su color verde claro, la flor se desarrolla más, pero el color se mantiene, esto lo podemos apreciar en la Figura 20 (B) a las 48 horas post incendio. En un tiempo posterior a las 48 horas, la floración permanece con el mismo color, sin embargo, la longitud del escapo de la flor aumenta considerablemente, esto lo podemos ver en la Figura 20 (C y D). Las flores llegan a eclosionar o, en otras palabras, se da una apertura floral aproximadamente a los cinco días post incendio, en la Figura 20 (E), podemos ver en la primera fotografía que la flor cuando eclosiona posee una coloración amarillo intenso que contrasta en gran medida con el color negro de las cenizas presentes en el medio ambiente después del paso del fuego. Por último, luego de haberse dado la apertura floral o eclosión de las flores, empieza el proceso de marchitamiento, y las flores vuelven a su color inicial de un amarillo claro, esto se puede observar en la Figura 20 (F).

Figura 20

A – Floración de *Bulbostylis paradoxa* 24 horas post incendio; B – Floración de *B. paradoxa* 48 horas post incendio; C y D - Floración de *B. paradoxa* cuatro días post incendio; E - Floración de *B. paradoxa* cinco días post incendio; F - Floración de *B. paradoxa* diez días post incendio



En cuanto a las raíces, en la Figura 21 (A y B), se puede observar las raíces de un ejemplar de *Bulbostylis paradoxa* posterior a un incendio, estas se caracterizan por no ser muy largas, son delgadas y ramificadas, típico del sistema radicular de una gramínea.

Figura 21

A y B – Sistema radicular de la *B. paradoxa* post incendio



Por último, el tallo de la *B. paradoxa* es una de las partes de esta planta más especiales debido a sus características inusuales. El tallo se caracteriza por ser generalmente corto en longitud, sin embargo, algunos ejemplares poseen tallos más largos que otros. En la Figura 22 (A), se aprecian tallos de *B. paradoxa* de ejemplares en Laguna Guayabal y en la Figura 22 (B), se encuentran ejemplares de Loma Lito.

En ambas imágenes se puede apreciar la diferencia en el desarrollo del tallo, donde los ejemplares del segundo sitio en Loma Lito, poseen en general tallos muy reducidos comparados a los ejemplares de Laguna Guayabal. Por otro lado, en la Figura 22 (C), se evidencia la morfología del tallo de ejemplares de *B. paradoxa* en el tercer sitio de estudio en Mico Pintado, aquí los ejemplares al igual que en Laguna Guayabal, parecen más desarrollados en comparación con los ejemplares de Loma Lito.

Figura 22

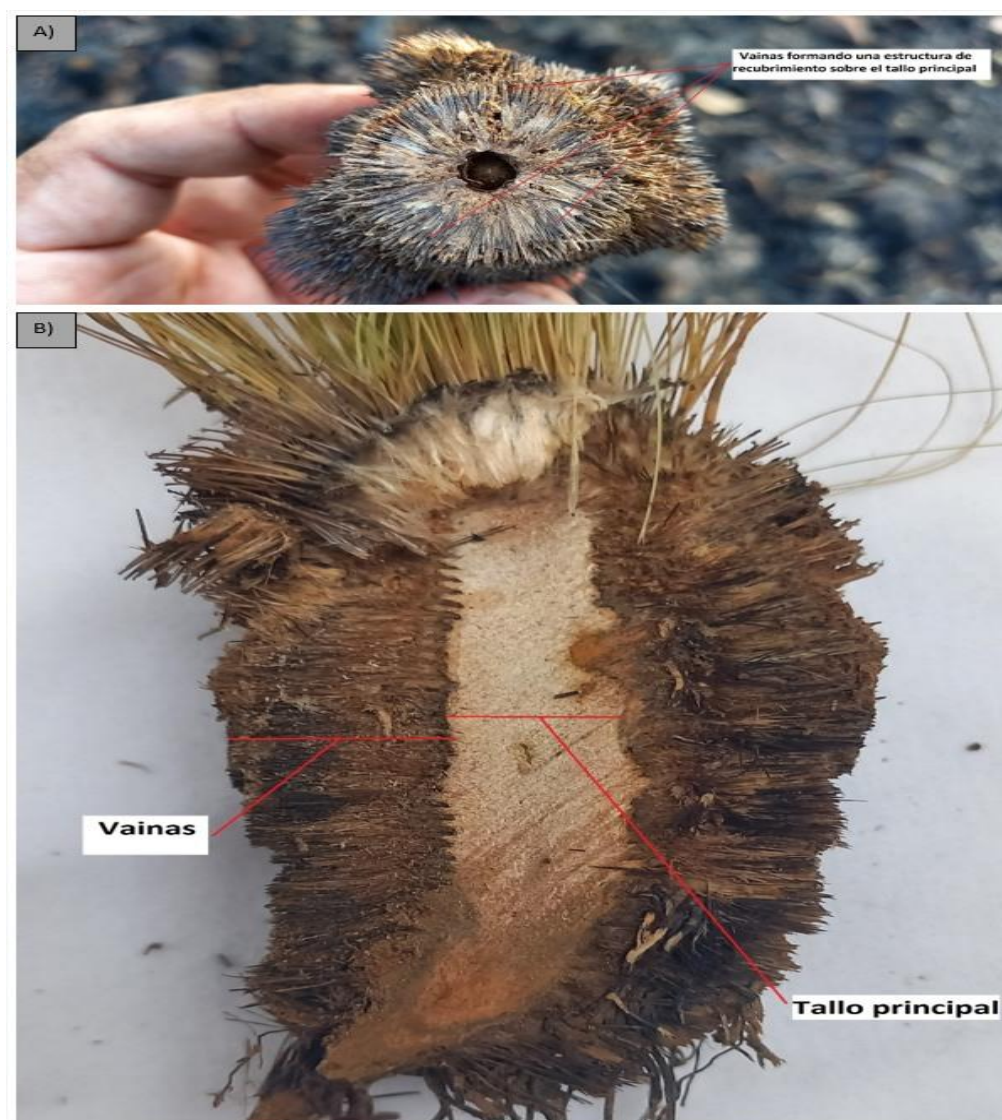
A - Tallo de ejemplares de *Bulbostylis paradoxa* en Laguna Guayabal; B - Tallo de ejemplares de *B. paradoxa* en Loma Lito; C - Tallo de ejemplares de *B. paradoxa* en Mico Pintado



El tallo de las *Bulbostylis paradoxa*, también se caracteriza por estar recubierto de estructuras con forma de espigas que le da esa apariencia abultada y redondeada al tallo de la planta. En la Figura 23 (A), se puede apreciar estas estructuras y como se desarrollan a partir de la base central del tallo. Esto último es otra característica inusual del tallo de *la B. paradoxa*, este posee una parte central completamente lignificada a manera de leño que es la parte principal del tallo. En la Figura 23 (B) se puede apreciar el corte transversal de un ejemplar de *B. paradoxa* que permite visualizar la parte central lignificada de la planta.

Figura 23

A – Vainas y bases foliares viejas formando una estructura de recubrimiento del tallo de *B. paradoxa*; B - Corte transversal del tallo de *B. paradoxa*

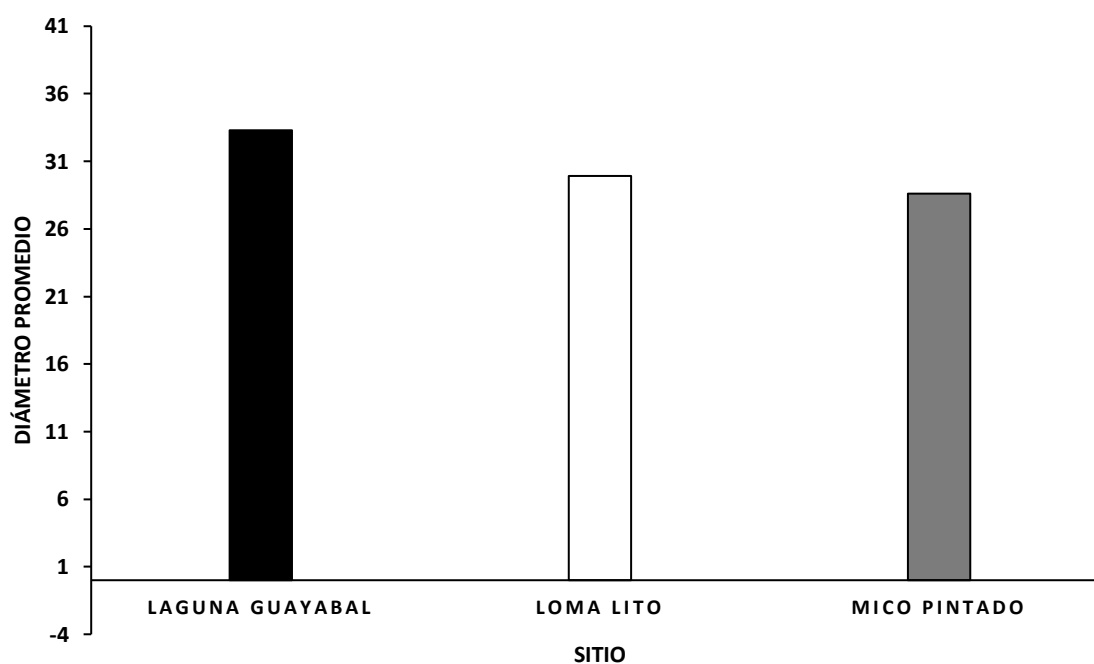


4.3.2 Diámetro promedio y error estándar de la corona de hojas de las *B. paradoxa* en condición pre y post incendio en los sitios de estudio.

En el estudio de la *B. paradoxa*, se realizaron mediciones del diámetro de la corona de hojas de los ejemplares en seguimiento de la *B. paradoxa* haciendo uso de sus partes vegetativas (hojas) como medio, esto se hizo en condiciones pre y post incendio y se promedió los resultados. En la Figura 24, se puede apreciar los valores promedio correspondientes al diámetro de la corona de hojas de las *B. paradoxa* en los sitios de estudio, se puede observar que en Laguna Guayabal se encuentran los ejemplares con mayor diámetro de la corona, con un promedio de 33,3 cm, seguido de Loma Lito con ejemplares con un promedio de 29,92 cm y por último Mico Pintado con 28,61 cm.

Figura 24

Diámetro promedio de la corona de las *Bulbostylis paradoxa* junto su error estándar en condición pre incendio en los sitios de estudio

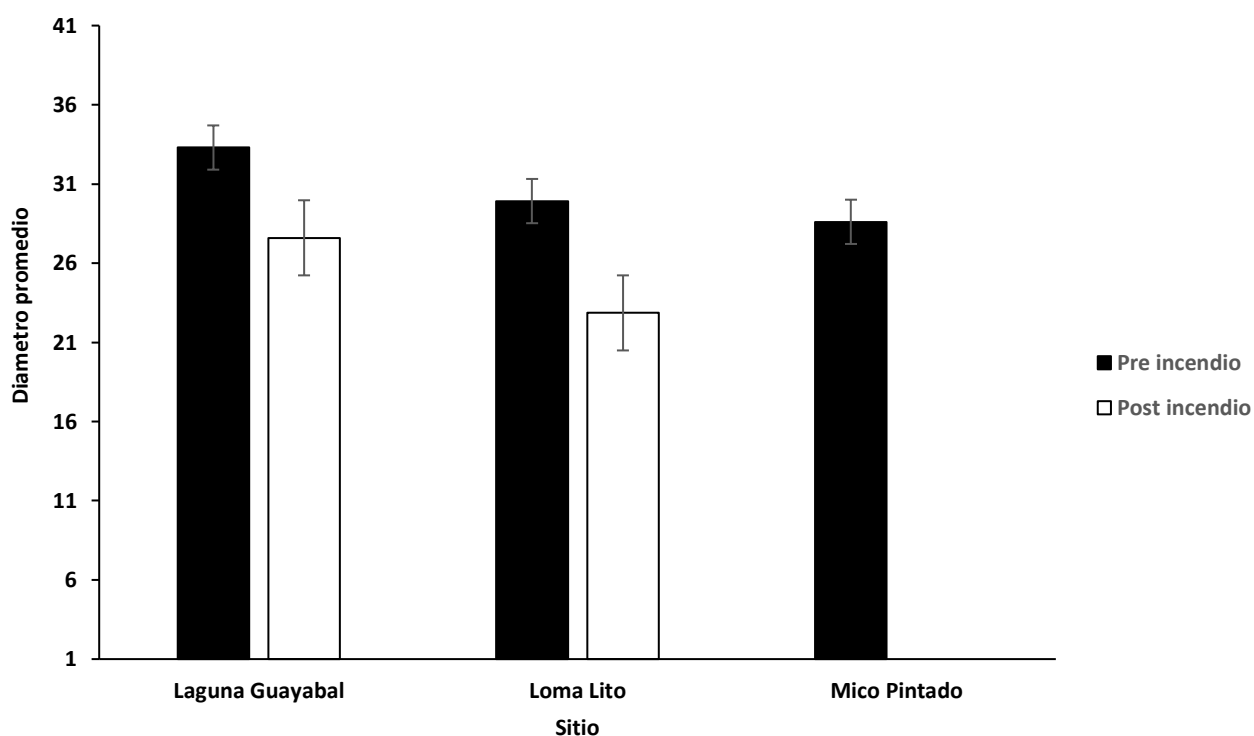


En la Figura 25, se puede apreciar que, en las mediciones realizadas en los sitios para esta planta, el diámetro promedio de la corona disminuyó en condiciones post incendio respecto a los resultados en condiciones pre incendio. En la Figura 25, en el primer sitio en Laguna Guayabal, se aprecia una disminución del diámetro de las *B. paradoxa* en condiciones post incendio, pasando de 33,3 cm en condición pre incendio a 27,6 cm en condición post incendio.

En el segundo sitio en Loma Lito, las mediciones post incendio en este sitio muestran la misma tendencia que en Laguna Guayabal, disminuyendo en condición post incendio, sin embargo, las longitudes en este sitio son las más pequeñas respecto a Laguna Guayabal, siendo el promedio de estas de 22,86 cm.

En el tercer sitio, aunque no se pudo realizar la quema y, por lo tanto, obtener datos post incendio, los resultados pre incendio en la Figura 13 muestran que el tamaño promedio del diámetro de las *B. paradoxa* en este sitio es menor en comparación a los ejemplares de Laguna Guayabal y Loma Lito. Figura 25

Diámetro promedio junto su error estándar de las *Bulbostylis paradoxa* en condición pre y post incendio en los sitios de estudio



Para determinar si la disminución del diámetro de la corona de la *B. paradoxa* en condición post incendio es significativo, se realizó una prueba t de significancia con el programa Past 4 en los sitios donde se realizó quema en las parcelas.

En Laguna Guayabal, los resultados de la prueba t muestran una diferencia significativa entre ambas condiciones. La diferencia de medias fue de 8,0882 cm, con un valor p de significancia de 0,00023456, lo que indica que es poco probable que la diferencia mostrada se deba al azar, ya que se encuentra por debajo del umbral de significancia de 0,005. El intervalo de confianza del 95% para la diferencia de medias es de (4,4501, 11,726), lo que sugiere que, con un 95% de confianza, la verdadera diferencia en el diámetro de las plantas entre pre y post incendio está entre 4,4501 cm y 11,726 cm. Como este intervalo no incluye 0, esto reafirma la conclusión de que el diámetro de las plantas post incendio es significativamente menor en comparación con el diámetro antes del incendio.

En Loma Lito por su parte, los resultados de la prueba t también muestran una diferencia significativa entre las dos condiciones. La diferencia de medias fue de 9,2727 cm, con un valor p de significancia de 0,00094725, lo que indica que la diferencia observada es poco probable que se deba al azar. El intervalo de confianza del 95% para la diferencia de medias fue de 4,8029 cm a 13,743 cm, lo que indica que, con un 95% de confianza, la verdadera diferencia en el diámetro de la corona de las *B. paradoxa* entre las condiciones pre y post incendio está entre 4,8029 cm y 13,743 cm. Al igual que Guayabal, el intervalo no incluye el valor de 0, por lo que esto refuerza el resultado de que el diámetro de la corona de las *B. paradoxa* post incendio es significativamente menor que en la condición pre incendio.

También se realizó una prueba t entre los diámetros de las medidas de la corona de hojas de las *B. paradoxa* en condición post incendio entre Laguna Guayabal y Loma Lito. Los resultados evidencian una diferencia de 2,0722 cm entre las medias, con un valor t de 0,87246 y un valor p de significancia de 0,50627, lo que indica que no se puede rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia de 0,05.

Este valor p está por encima del umbral de 0,05, lo que sugiere que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas. Sin embargo, el tamaño del efecto de Cohen's D es de 0,2351, lo que implica un efecto pequeño entre la diferencia. Aunque la diferencia no es lo suficientemente fuerte para rechazar la hipótesis nula, aún puede tener relevancia práctica, es decir, hay una diferencia pequeña entre los grupos que podría ser importante en algunos contextos, aunque no haya suficiente evidencia para considerarla estadísticamente significativa al nivel de significancia de 0,05.

4.3.3 Estado de la floración en 24 y 48 horas post incendio de los ejemplares de *B. paradoxa* en seguimiento y fuera de las parcelas.

En condiciones post incendio, la floración fue exuberante en las *B. paradoxa* en seguimiento, sobre todo en el primer sitio en Laguna Guayabal. En la revisión de 12 horas post incendio, en ambos sitios de estudio, la floración de los ejemplares en seguimiento de *B. paradoxa* en las parcelas estaba muy poco desarrollada, lo que dificultaba su conteo, esto se puede apreciar en la Figura 26 (A), donde se aprecian puntos amarillos que son flores potenciales en desarrollo.

El análisis del estado de la floración post incendio correspondiente a las 24 horas, mostró que en general, la floración de los ejemplares de *B. paradoxa* se asemeja en el grado de desarrollo en ese momento determinado entre los sitios de estudio, en la Figura 26 (B), se puede observar la floración de un ejemplar de *B. paradoxa* en Laguna Guayabal, y en la Figura 26 (C), un ejemplar de Loma Lito.

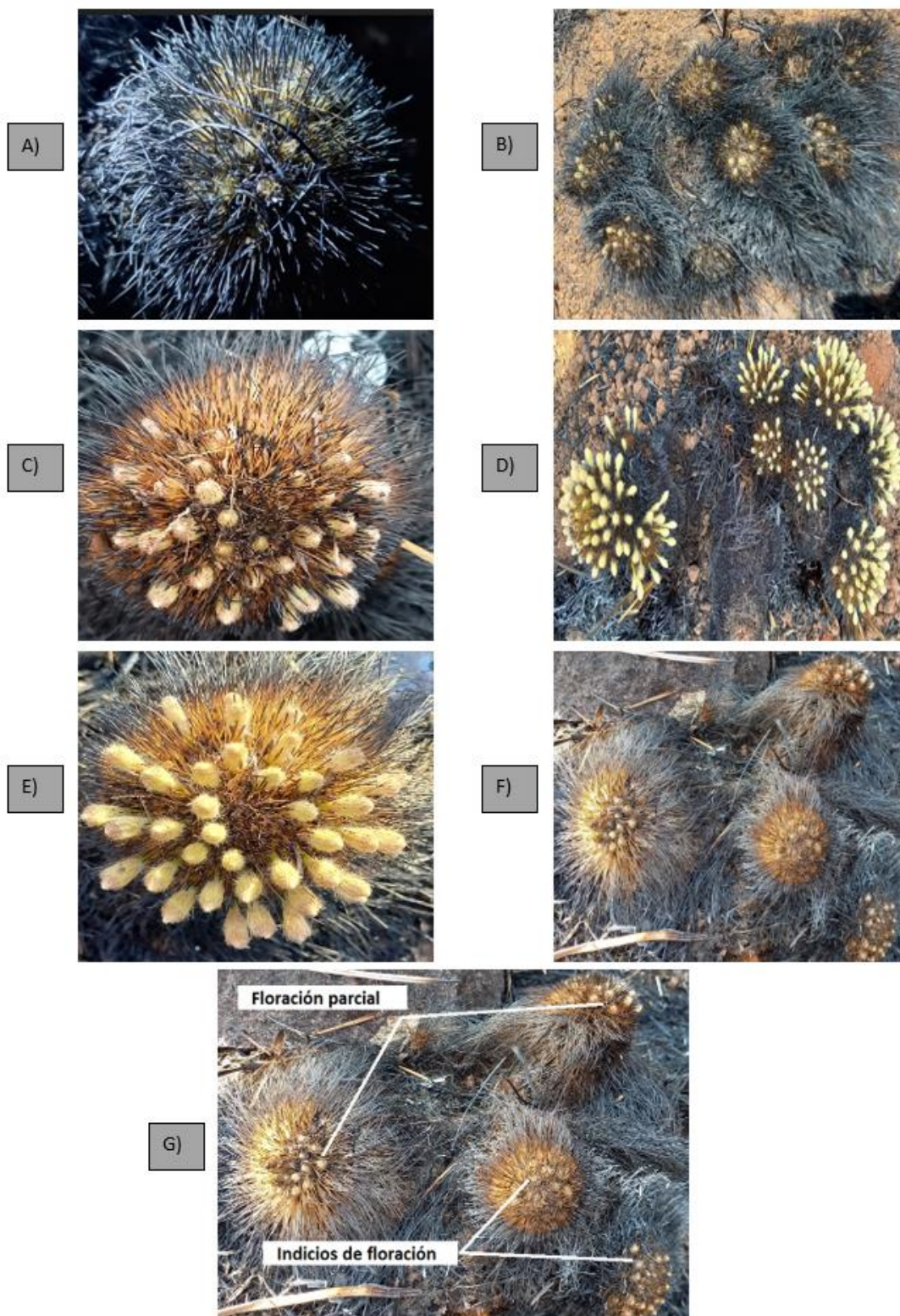
En el análisis de 48 horas post incendio, la floración de las *B. paradoxa* en seguimiento es superior al mostrado de las 24 horas en ambos sitios de estudio, las flores se encuentran más desarrolladas, y el escapo de las flores se encuentra más extenso en relación al eje de floración de la planta, esto último, aún más evidente en el primer sitio en Laguna Guayabal. En la Figura 26 (D), se puede observar el desarrollo de la floración de un ejemplar de *B. paradoxa* en el primer sitio en Laguna Guayabal, la floración es más numerosa, los escapos de las flores presentan mayor elongación lo que hace que las flores sean fácilmente distinguibles para su conteo.

Por otro lado, según los análisis realizados a las 48 horas post incendio, la floración en el segundo sitio en Loma Lito se encuentra de forma general menos desarrollada y es menos numerosa en comparación a Laguna Guayabal. Aunque algunos ejemplares se encuentran bien desarrollados, estos definitivamente son una minoría en este sitio.

En la Figura 26 (E), se evidencia un ejemplo de floración bien desarrollada en el segundo sitio de estudio para el análisis correspondiente a las 48 horas, podemos notar la gran diferencia en el desarrollo de la floración si se le compara con la Figura 26 (F) que corresponde a un ejemplar con una floración tardía y menos desarrollada del mismo sitio analizado igualmente a las 48 horas post incendio. En la Figura 26 (G), se muestran las etapas de floración de indicios de floración y floración parcial, estas etapas se incluyeron como una manera de describir y evidenciar la floración tardía en algunos ejemplares los *B. paradoxa* según el estado de la floración en el momento del análisis.

Figura 26

Estados de la floración de la *Bulbostylis paradoxa* en los análisis de 24 y 48 horas post incendio



En la Figura 27 (A), se puede apreciar el promedio del total de *B. paradoxa* con floración presentes en las parcelas en Laguna Guayabal y Loma Lito en el análisis de 48 horas post incendio. Los resultados muestran un mayor promedio en la tasa de floración de las plantas en Laguna Guayabal con un 83% (24) respecto a Loma Lito con tan solo 17% (5).

En la Figura 27 (B), se observa que, en ambos sitios de estudio en Laguna Guayabal y Loma Lito, se mostró un aumento en la floración de la *B. paradoxa* en condición post en los análisis correspondientes a las 48 horas. Como se puede apreciar en los resultados, la floración en el segundo sitio en Loma Lito es notablemente inferior a Laguna Guayabal, tanto en los análisis de 24 como los de 48 horas post incendio.

Para determinar si el aumento en la floración en ambos sitios de 24 a 48 horas es significativo, se realizó una prueba t de significancia con el programa Past 4. Para Laguna Guayabal, los resultados de la prueba t para comparar la cantidad de floración entre los análisis de 24 y 48 horas post incendio, muestran una diferencia significativa. La diferencia de medias fue de 33.35 flores, con un valor p de significancia de 0,0017, lo que demuestra que la diferencia observada es poco probable que se deba al azar, ya que el valor se encuentra por debajo del umbral de significancia que es 0,005.

El intervalo de confianza del 95% para la diferencia de las medias fue (14,166, y 52,534), esto sugiere que con este 95% de confianza, la verdadera diferencia en la cantidad de flores entre las 24 y 48 horas post incendio está entre 14,166 y 52,534 flores. Este intervalo no incluye 0, por lo que refuerza la conclusión de que la cantidad de flores es significativamente mayor a las 48 horas en comparación a lo encontrado a las 24 horas post incendio.

En Loma Lito por su parte, los resultados de la prueba también mostraron una diferencia significativa en las medias de los datos de 24 y 48 horas. La diferencia promedio fue de 7,6842 flores (con un intervalo de confianza del 95% entre 1,5242 y 13,844). El valor p calculado fue de 0,0173 y se encuentra por debajo del umbral de significancia, por lo que demuestra que la diferencia de floración entre las 24 y 48 horas observada es estadísticamente significativa, por lo tanto, la cantidad de flores realmente aumenta considerablemente entre las 24 y las 48 horas post incendio en los sitios de estudio. Ambas pruebas de significancia hechas para Laguna Guayabal y Loma Lito indican que el incremento en la cantidad de flores en condición post incendio entre los análisis realizados a las 24 y 48 horas mostrado en la Figura 27 (B), es significativo.

Es importante también determinar la significancia entre la diferencia de floración entre Laguna Guayabal y Loma Lito en condición post incendio en el análisis de 48 horas que es donde la floración estaba más desarrollada en ambos sitios.

Como se comparan muestras de diferente tamaño, se utilizó la prueba t de Welch. Los resultados de la prueba t de Welch indican una diferencia significativa en la floración post incendio entre Laguna Guayabal y Loma Lito a las 48 horas post incendio ($t = 3,6698$, $p = 0,0014801$). La diferencia entre las medias es de 74,988 flores, con intervalos de confianza que no incluyen el cero, lo que refuerza el resultado. El valor de t calculado excede el valor crítico de t ($3,6698 > 2,0322$ para $p = 0,05$), demostrando que la diferencia es estadísticamente significativa. Adicionalmente, el valor de Cohen's D (1,105) evidencia un tamaño del efecto grande, lo que sugiere una diferencia considerable en la floración entre los dos sitios a las 48 horas en condición post incendio.

En la Figura 27 (C), se muestra la cantidad total de flores catalogadas como indicios de floración y floración parcial en los sitios de estudio para los análisis de 24 y 48 horas post incendio.

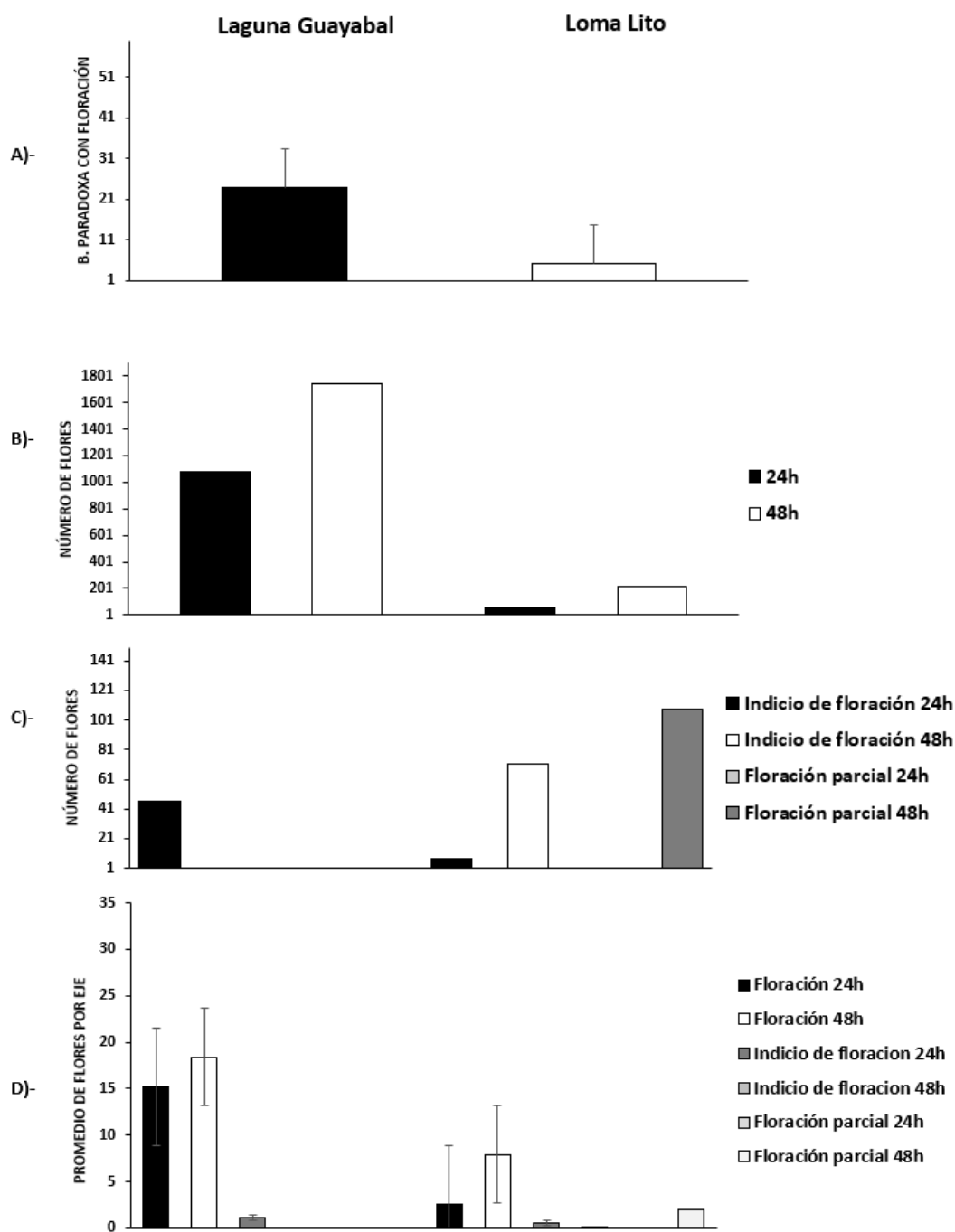
Laguna Guayabal solamente posee flores catalogadas como indicios de floración en el análisis de 24 horas post incendio con solo cuarenta y seis flores. Loma Lito por su parte, es el sitio que más flores posee repartidas en indicios de floración y floración parcial, siendo esta última la más numerosa con ciento ocho flores. Aunque las flores catalogadas como indicios de floración no son tan numerosas, las flores encontradas en este estado en los análisis de 24 y 48 horas suman setenta y ocho flores, una cifra bastante significativa.

En relación a la floración post incendio de la *B. paradoxa*, también es importante evidenciar el promedio de la cantidad de flores por eje de floración de las *B. paradoxa* en cada parcela de los sitios de estudio. En la Figura 27 (D), se observa un leve aumento en la cantidad promedio de flores por eje de floración entre el análisis de 24 y 48 horas en condición post incendio. En Laguna Guayabal, el promedio pasó de 15,2 flores a las 24 horas a 18,4 a las 48 horas post incendio, mientras que en Loma Lito aumentó de 2,55 flores por eje de floración a las 24 horas a 7,93 a las 48 horas post incendio.

En la Figura 27 (D), también se puede apreciar como los estados de floración que describen la floración tardía o poco desarrollada se encuentran en mayor cantidad en el segundo sitio en Loma Lito, con valores promedio significativos de flores por eje de floración en este estado, sobre todo en los resultados de los análisis de 48 horas post incendio. Loma Lito en los análisis de 48 horas presenta para indicios de floración y floración parcial en promedio de 0,19 y 2 flores por eje de floración en las plantas de este sitio de estudio respectivamente.

Figura 27

A – Promedio del total de *Bulbostylis paradoxa* con floración por sitio en 48 horas en condición post incendio; B – Número de flores de *B. paradoxa* en seguimiento por sitio en 24 y 48 horas en condición post incendio; C - Indicios de floración y floración parcial total por sitio de *B. paradoxa* en 24 y 48 horas en condición post incendio; D – Promedio de flores, indicios de floración y floración parcial por eje de floración de *B. paradoxa* en 24 y 48 horas en condición post incendio.



Luego de las quemas de las parcelas el 21 de marzo del 2024, se pudo observar en el primer sitio de estudio en Laguna Guayabal, en fechas posteriores superior a las 48 horas post incendio, que se dieron varios casos en donde se produjo floración de *B. paradoxa* fuera de las parcelas, pero en las cercanías de estas. En la Figura 28 (A, B y C) podemos observar ejemplos del estado de la floración en ejemplares de *B. paradoxa* bajo el efecto indirecto del fuego.

Figura 28

A - Floración de *B. paradoxa* fuera de la parcela cuatro días después de las quemas en Laguna Guayabal, foto tomada el 25 de marzo del 2024; B - Floración de *B. paradoxa* fuera de la parcela diez días después de las quemas en Laguna Guayabal, foto tomada el 31 de marzo del 2024; C - Floración de *B. paradoxa* fuera de la parcela veintiún días después de las quemas en Laguna Guayabal, foto tomada el 11 de abril del 2024



Fuente: Didi Guadamuz Eras

4.3.4 Porcentaje de floración y mortalidad de la *Bulbostylis paradoxa* a las 48 horas en condición post incendio por sitio de estudio.

Se realizó un seguimiento de hasta 10 especímenes de *B. paradoxa* en cada parcela en los sitios de estudio para determinar variables clave como la tasa de floración y la supervivencia en respuesta al paso del fuego. Sin embargo, también se consideró el total de *B. paradoxa* presentes en cada parcela de cada sitio de estudio con el objetivo de obtener una muestra mayor que mejore la confiabilidad y validez de los resultados aquí presentados.

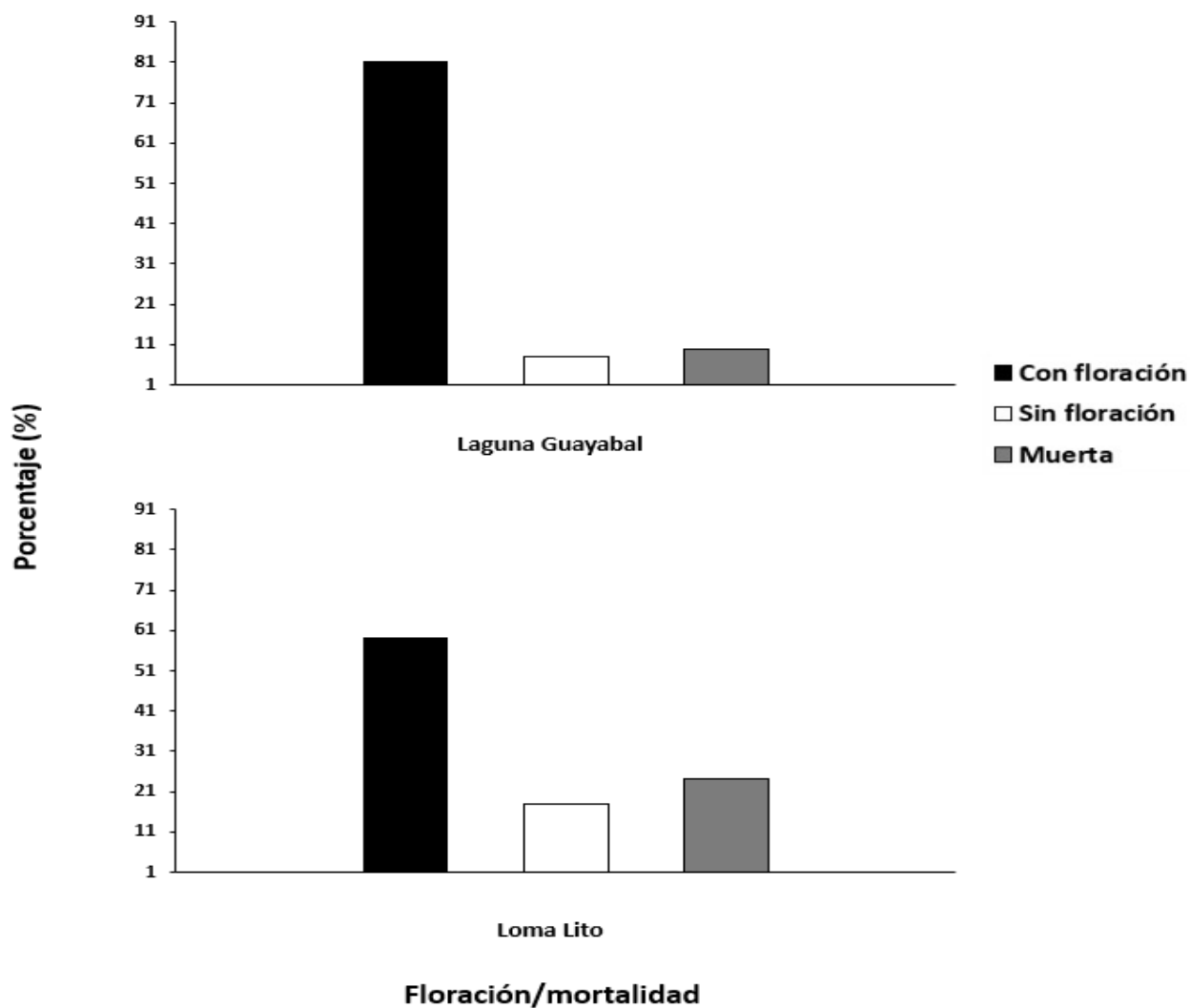
El análisis se centró en los datos obtenidos a las 48 horas post incendio, ya que en este período los efectos del fuego sobre *B. paradoxa* son más evidentes y sostenibles. En Laguna Guayabal florecieron un total de cuarenta y ocho (81%) ejemplares de *B. paradoxa* de una muestra de cincuenta y nueve plantas presentes en ambas parcelas de este sitio, esto quiere decir, que este último valor incluye tanto las *B. paradoxa* en las parcelas en seguimiento como las que no lo estaban. De las cincuenta y nueve plantas, cinco (8%) ejemplares no florecieron y seis (10%) plantas murieron debido al fuego.

En Loma Lito, florecieron un total de diez (59%) ejemplares de *B. paradoxa* de una muestra total de diecisiete plantas presentes en ambas parcelas de este sitio. De estas diecisiete plantas, tres (18%) no florecieron y cuatro (24%) ejemplares murieron.

Como se muestra en la Figura 29, los porcentajes de floración de *B. paradoxa* fueron altos en ambos sitios, siendo Laguna guayabal el que posee la mayor floración y Loma Lito, aunque de segundo puesto, posee una floración por encima del 50%.

Figura 29

Porcentaje de floración y mortalidad de la *Bulbostylis paradoxa* a las 48 horas en condición post incendio



4.3.5 Mortalidad asociada a *Bulbostylis paradoxa* en seguimiento posterior a 48 horas en condiciones post incendio en cada sitio de estudio.

La mortalidad de *B. paradoxa* posterior a 48 horas en condiciones post incendio es baja en ambos sitios de estudio, tanto en Laguna Guayabal como Loma Lito. La mortalidad total de ejemplares en ambos sitios de estudio es similar con tres para Laguna Guayabal y cuatro para Loma Lito.

En Laguna Guayabal se encontraban cuatro *B. paradoxa* juveniles en seguimiento, la mortalidad de estas plantas fue de dos ejemplares lo que, al mismo tiempo, corresponde a la mayor parte del total

de muertes en este sitio que son tres. En Loma Lito por su parte, no habían *B. paradoxa* juveniles en seguimiento y todas las muertes corresponden a ejemplares adultos.

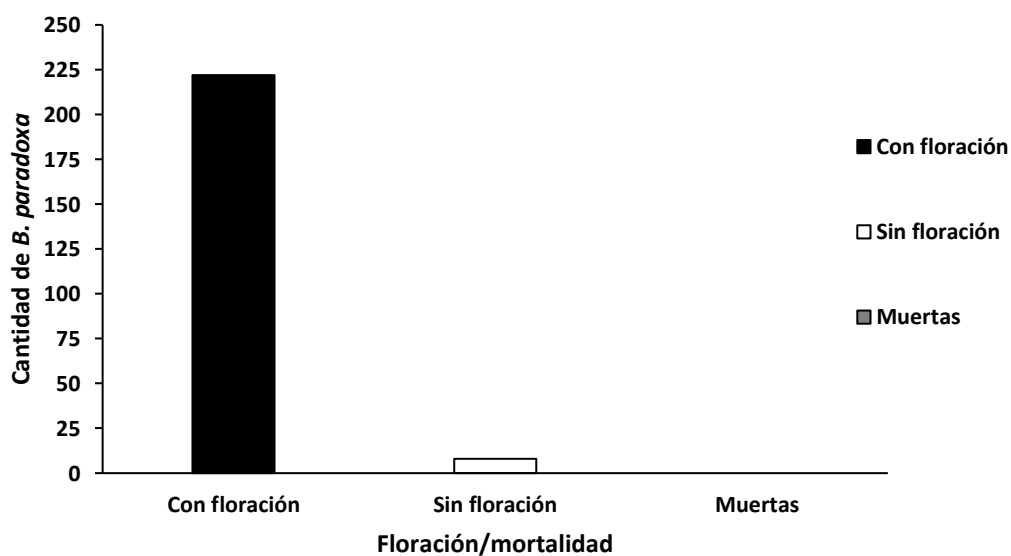
4.3.6 Floración y mortalidad de las *B. paradoxa* en los dos transectos realizados en los alrededores de las parcelas en Laguna Guayabal luego del incendio.

Estos dos transectos se realizaron aprovechando el incendio ocurrido fuera de las parcelas en Laguna Guayabal el 19 de abril del 2024, el cual, quemó toda la zona circundante a las parcelas con un total de 109,99 hectáreas afectadas en el sitio. Estos transectos se establecieron con el objetivo de recabar mayor información que contribuya con el conocimiento generado para la *B. paradoxa*, especialmente en aspectos de importancia como la tasa de floración y mortalidad de la especie en respuesta al fuego, haciendo uso de una muestra más grande de estas plantas que permita obtener resultados más confiables y precisos.

En la Figura 30, se puede ver la información unificada de ambos transectos. La floración de la *B. paradoxa* en ambos transectos luego del incendio (condición post incendio), es muy prominente con una tasa de floración del 97% (222 ejemplares), por lo que la relación que hay entre ejemplares con floración contra aquellas sin floración 3% (8 ejemplares) y muertas 0% (0 ejemplares), es bastante positiva.

Figura 30

Floración y mortalidad de *B. paradoxa* en condición post incendio en los dos transectos ubicados en los alrededores de las parcelas en Laguna Guayabal



4.3.7 Estado de la floración de las *B. paradoxa* en seguimiento en fechas posteriores a las 48 horas post incendio en los sitios de estudio.

El desarrollo de la floración de la *B. paradoxa* se mantuvo constante durante un tiempo prolongado post incendio, mostrando cambios en aspectos como la coloración de la flor y en el largo de los escapos de las flores. En la Figura 31 (A y B), se puede apreciar el estado de la floración de la *B. paradoxa* diez días después de las quemas en Laguna Guayabal y en la Figura 31 (C, D y E), ocho días después en Loma Lito, las flores se encuentran al final de su vida útil, con un crecimiento máximo de la longitud del escapo de las flores y se empieza a notar el rebrote de las hojas en algunos ejemplares.

Figura 31

A y B - Estado de la floración de ejemplares de *B. paradoxa* en el primer sitio de estudio en Laguna Guayabal diez días post incendio, fotos tomadas el 31 de marzo del 2024; C, D y E - Estado de la floración de ejemplares de *B. paradoxa* en el segundo sitio de estudio en Loma Lito ocho días post incendio, fotos tomadas el 29 de marzo del 2024



Fuente: Didi Guadamuz Eras

V. Discusión

5.1 Estudio de Composición Florística del Estrato Herbáceo en Condición Pre y Post Incendio

La diversidad de especies en los tres sitios de estudio es considerable, a pesar de la limitada cantidad y tamaño de las parcelas. Los resultados muestran que incluso en un estudio pequeño se pueden encontrar una gran variedad de especies herbáceas representativas de cada sitio. Según los resultados obtenidos, las especies registradas se encuentran repartidas en pocas familias y géneros. Coincidiendo con Jiménez (2016), se observa que los ecosistemas de sabana del Neotrópico presentan un patrón de riqueza caracterizado por pocas familias y géneros, pero muchas especies, incluidas muchas con solo un representante.

Entre las familias encontradas, La familia Fabaceae es la más abundante, con especies que incluyen hierbas, árboles, arbustos y bejucos, destacándose por su diversificación evolutiva y presencia en varios ecosistemas (Aguilar et al., 2021). En este estudio, la hierba sufruticosa *Declieuxia fruticosa* es la más abundante en los sitios de Laguna Guayabal y Loma Lito, mientras que, en el tercer sitio, en Mico Pintado, predomina *Stylosanthes viscosa*.

Las hierbas sufruticosas son las más comunes en las especies encontradas, seguidas por otras familias como Malvaceae. En otros estudios de sabanas, las hierbas no gramínoideas predominan, con las hierbas sufruticosas ocupando el segundo lugar (Jiménez, 2016). La abundancia de *Declieuxia fruticosa* aumentó notablemente tras el incendio, sugiriendo que esta especie tiene características adaptativas al fuego, como una alta capacidad de regeneración y/o reclutamiento. Esto invita a realizar un estudio más profundo sobre sus rasgos adaptativos. Además, se observó la aparición de *Curculigo scorzonnerifolia* en los análisis post incendio, una especie no presente antes. Ambas hierbas pueden considerarse plantas pioneras, ya que, como mencionan Sáenz y Zepeda (2023), son las primeras en colonizar áreas alteradas, como aquellas afectadas por un incendio, reiniciando la competencia entre las plantas en el ecosistema.

En los sitios de estudio en Laguna Guayabal y Loma Lito, la diversidad forbias aumentó considerablemente tras el paso del fuego según el Índice de Simpson. Aunque se dio un aumento en la diversidad en ambos sitios, solamente el aumento en la diversidad de Loma Lito fué estadísticamente significativo según la prueba t de diversidad realizada, ya que, en Laguna Guayabal, la diferencia en la diversidad, según el índice de Simpson, no es lo suficientemente grande como para que se considere estadísticamente significativa (Laguna Guayabal p valor 0,4792 > 0,005, Loma Lito p valor 0,0041301 < 0,005).

Dicho lo anterior, este aumento en la diversidad de las especies de hierbas no gramíneas o forbias en condición post incendio puede atribuirse a la eliminación de la competencia, y a la posterior diversificación, ya que el fuego actúa como una herramienta de limpieza que elimina la materia vegetal existente, deteniendo la competencia por agua, luz y nutrientes. Esto es especialmente relevante para las hierbas no gramíneas, que a menudo enfrentan una fuerte competencia de las gramíneas. Después del incendio, aunque el terreno queda limpio, esta situación es temporal. Según Pausas y Keeley (2022), las gramíneas tienen una rápida capacidad de rebrote post incendio, lo que les permite dominar nuevamente el área. Por lo tanto, el periodo tras el fuego es crucial para la recolonización, ya que abre una nueva oportunidad para que las plantas herbáceas aprovechen las condiciones favorables del suelo y recolonizen el área.

La competencia comienza a reanudarse según la velocidad de recolonización de las plantas del estrato herbáceo, ya que deben establecerse rápidamente para competir. Algunas de estas plantas, conocidas como pioneras, tienen habilidades especiales para colonizar áreas perturbadas, como lo es un incendio. Este tipo de plantas pueden explicar el aumento en abundancia de ciertas especies tras el incendio, así como la aparición de otras que solo se registraron en condiciones post incendio (Sáenz y Zepeda, 2023). Otra razón que puede explicar el aumento de la diversidad de plantas herbáceas post incendio es el incremento en la germinación. Según Daibes et al. (2019), la regeneración por semilla es común en ecosistemas propensos al fuego, como las sabanas, ya que efectos del fuego, como el golpe de calor y el humo, pueden romper la inactividad de las semillas, incentivando su germinación.

El aumento en la diversidad de plantas del estrato herbáceo tras un incendio es un fenómeno complejo que puede atribuirse a varios factores, como el cambio en las condiciones del terreno y el aumento de nutrientes disponibles. Sin embargo, las dos causas mencionadas son las más evidentes. A pesar de ello, Pausas y Keeley (2022) señalan que, en ecosistemas propensos al fuego, donde predominan incendios de baja intensidad, las plantas tienden a desarrollar rasgos que favorecen el rebrote en lugar de la regeneración por semilla. En estos ecosistemas, el reclutamiento por germinación es limitado, y el conocimiento sobre las especies que dependen del fuego para germinar es escaso. Esto se debe a que, en ambientes con incendios frecuentes, las plantas pueden no alcanzar la madurez reproductiva necesaria para producir nuevas semillas, haciendo que esta estrategia sea insostenible.

Aunque el reclutamiento por germinación no se limita a las condiciones post incendio, es evidente que varias especies muestran un aumento en la germinación tras el fuego. El aumento en la diversidad de hierbas en este estudio no es casual, ya que investigaciones previas, como la de Kunst et al. (2003), también documentaron un incremento en la diversidad de especies herbáceas tras incendios en

ecosistemas de sabana. Este incremento podría ser resultado de plantas que ya estaban presentes en el sitio y que, tras el fuego, encontraron mejores condiciones para desarrollarse, ya sea gracias a la estimulación del fuego por humo o calor, o a condiciones ambientales mejoradas. Para comprender con mayor profundidad las causas del aumento de diversidad en el ecosistema de sabana tras un incendio, se necesitarían estudios adicionales.

Respecto a las gramíneas, gran variedad de literatura describe el ecosistema como un sitio con alta dominancia de pastos, y lo visto en los sitios de estudio corroboran este hecho, las gramíneas en este ecosistema conforma la mayor parte del paisaje y su dominancia es evidente a simple vista. Según Artavia y Ávalos (2020), las gramíneas, junto a las ciperáceas, dominan los ecosistemas de sabana. Como se ha mencionado anteriormente, esta predominancia de las gramíneas y otros pastos, se puede deber a su adaptación al fuego y su capacidad de rebrote rápido tras incendios, lo que les permite establecerse y competir eficazmente por recursos como agua, luz y nutrientes. Así, las gramíneas y otros pastos desempeñan un papel crucial en la estructura y función de los ecosistemas de sabana, contribuyendo a la diversidad y estabilidad del hábitat.

Como indican Bernardino et al (2021), el ecosistema de sabana está dominado por una capa continua de gramíneas, principalmente del tipo C4, que son altamente resistentes al fuego y se regeneran rápidamente, lo que refuerza su predominancia en este entorno propenso a incendios. En todos los sitios de estudio, las gramíneas junto a otros pastos, superan en gran medida a las especies herbáceas no graminoides en su porcentaje de cobertura en el suelo, confirmando su dominio en el estrato herbáceo. La estructura de un ecosistema, compuesta por sus componentes bióticos y abióticos, puede entenderse en términos verticales, como la estratificación de la vegetación, y horizontales, que se refiere a la distribución espacial de la vegetación y otros elementos abióticos (Fallas, 2015). En la sabana, donde predominan las gramíneas y los pastos, el estrato herbáceo es el más significativo, representando tanto la estructura vertical como horizontal del ecosistema y contribuyendo a su paisaje característico. Además, la clasificación de los ecosistemas de sabana puede basarse en la composición y distribución de sus componentes, especialmente la comunidad vegetal presente.

En los sitios de estudio, especialmente en Laguna Guayabal y Loma Lito, aunque hay especies arbustivas y arbóreas, la estructura vertical del ecosistema era bastante limitada, predominando el estrato herbáceo. En Laguna Guayabal, se observaron árboles como *Curatela americana* y *Byrsonima crassifolia*, con dominancia del arbusto *Psidium salutare*. En Loma Lito, se encontraban las mismas especies en gran cantidad, además de numerosos árboles de *Roupala montana* y arbustos como

Clidemia sericea y *Calea prunifolia*. En Mico Pintado, la sabana era aún más abierta, con ejemplares dispersos de *Curatela americana*, *Byrsonima crassifolia* y *Roupala montana*.

En Loma Lito, la densidad de árboles es mayor que en Guayabal, y el estrato herbáceo parece menos dominante. Los árboles son pequeños y de porte arbustivo, similar a los de otros sitios. Esto puede ser una consecuencia del hecho de que este sitio no se ha quemado en mucho tiempo (Guadamuz, Didi, comunicación personal, 5 de febrero de 2024), lo que ha permitido que las especies de este sitio se hayan diversificado en mayor medida y que el paisaje haya cambiado a uno donde el estrato herbáceo no parece ser el dominante. Caso contrario es Laguna Guayabal, donde el sitio se quema prácticamente de forma anual (Guadamuz, Didi, comunicación personal, 5 de febrero de 2024), y esto posiblemente ha provocado la disminución de especies arbóreas que no pueden llevar el ritmo a la recurrencia de los incendios y, por lo tanto, provoca la constante dominancia de los pastos, los cuales poseen grandes rasgos adaptativos al fuego que les permite no solo soportar el paso del fuego, sino a una alta recurrencia de este.

Debido a lo anterior, la estructura vertical y horizontal complica la clasificación del tipo de sabana presente. Gómez (1986), citado en Jiménez (2016), clasifica las sabanas de Costa Rica según su comunidad vegetal, señalando que todas tienen en común la dominancia del estrato herbáceo por gramíneas, con variaciones en el estrato arbóreo-arbustivo. Las características de los sitios estudiados muestran similitudes parciales con la sabana abierta, dominada por *Trachypogon plumosus*, aunque esta gramínea no se encontró en los sitios. En cuanto a la sabana arbolada, Gómez menciona un estrato discontinuo de *Quercus oleoides* y *Byrsonima crassifolia*; aunque *Byrsonima crassifolia* está presente en todos los sitios, *Quercus oleoides* no se encontró. Además, Gómez no menciona las especies abundantes observadas en los sitios, como *Curatela americana*, *Roupala montana* y *Psidium salutare*.

En todos los sitios de estudio, las gramíneas dominan el paisaje, aumentando la propensión a incendios, especialmente en Laguna Guayabal y Loma Lito, donde los vientos favorecieron la rápida propagación del fuego. Pausas (2017) señala que la dominancia de ciertas especies influye en la inflamabilidad de la comunidad vegetal, donde factores como la continuidad y distribución de especies inflamables, junto con condiciones micro climáticas y topográficas, afectan la propagación del fuego. Según Pausas y Keeley (2021), esta dominancia de gramíneas implica que el combustible para el fuego se encuentra principalmente en el estrato herbáceo, resultando en incendios superficiales de baja intensidad, pero alta frecuencia. El paso del fuego transforma el paisaje al consumir la materia vegetal del estrato herbáceo, dejando en pie árboles resistentes al fuego como *Byrsonima crassifolia* y *Roupala montana*.

Esta dinámica provoca cambios en la cobertura del suelo, afectando especialmente a las gramíneas que dominan en cada sitio de estudio. Los resultados de los análisis en cada parcela de los sitios de estudio mostraron cambios evidentes en la estructura vertical y horizontal del suelo en condición post incendio, especialmente en los porcentajes de cobertura de gramíneas en el suelo, área sin vegetación y visibilidad de la cobertura de rocas en la superficie del suelo.

En condición post incendio, se observó una reducción drástica en la cobertura de gramíneas, mientras que el área sin vegetación aumentó considerablemente debido a la eliminación de la vegetación herbácea. Es importante destacar como el porcentaje promedio de cobertura de gramíneas pre incendio es mayor en Loma Lito, un sitio que no se ha quemado en mucho tiempo, en comparación a Laguna Guayabal y Mico Pintado, los cuales presentan incendios anuales. Lo anterior evidencia que los pastos en este sitio poseen mayor densidad en el estrato herbáceo debido a la nula perturbación en el área por el fuego, lo que también explicaría que se haya generado una mayor cobertura de pastos en el suelo.

Respecto a la cobertura de rocas en la superficie del suelo, esta sufrió un incremento. Aunque esto podría interpretarse como un error de apreciación, se decidió conservar y analizar los resultados desde una perspectiva de visibilidad. Aunque las rocas como recurso no se ven afectadas directamente por el fuego, su visibilidad sí se modifica debido a la remoción de la capa de gramíneas. En Loma Lito, se encontraron mayores cantidades de rocas, tanto pequeñas como grandes, estas últimas en algunos casos ocupaban áreas significativas de algunas subparcelas. En casos como el anterior expuesto, la visibilidad de las rocas no varió significativamente pues la roca fue visible tanto en condición pre y post incendio; sin embargo, las rocas más pequeñas, previamente cubiertas por la capa de gramíneas, quedaron expuestas con el paso del fuego, lo que facilitó su apreciación.

5.2 Heterogeneidad Espacial de la Vegetación del Estrato Herbáceo en Condición Pre y Post Incendio

Los resultados sugieren que existe heterogeneidad espacial en la vegetación en las sabanas de Laguna Guayabal, Loma Lito y Mico Pintado en la provincia de Guanacaste, tanto en condiciones pre incendio como post incendio, donde el fuego juega una parte esencial en la disimilaridad de los sitios.

Laguna Guayabal y Loma Lito pre incendio se encuentran agrupadas posiblemente porque comparten varias especies de hierbas como la *Stylosanthes scabra*, *Declieuxia fruticosa*, *Spermacoce verticillata*, *Clitoria guianensis*, *Eriosema crinitum* y *Chamaecrista hispidula*. Laguna Guayabal y Loma Lito post incendio se encuentran agrupadas debido a un caso similar al anterior, hay una similitud en las

especies encontradas entre estos dos sitios en condiciones post incendio, sin dejar de lado la abundancia. Estos dos sitios comparten la presencia de especies como *Stylosanthes scabra*, *Declieuxia fruticosa*, *Spermacoce verticillata*, *Clitoria guianensis*, *Buchnera weberbaueri*, *Morfoespecie 1*, *Spermacoce sp (Morfoespecie 1)*, *Hexasepalum teres*, *Zornia gemella* y *Curculigo scorzonifolia*.

El Tercer agrupamiento compuesto por los agrupamientos anteriores, se debe a que estos tienen mayor similitud entre ellos que con el cuarto agrupamiento compuesto únicamente por el tercer sitio en Mico Pintado, lo que sugiere que existe una gran diferencia entre la composición de especies de estos sitios.

Es importante destacar que, según los resultados, los sitios en condición pre incendio son más heterogéneos que en su condición post incendio, donde se vuelven más homogéneos. Lo anterior sugiere que la composición de las especies vegetales se vuelve más similar entre sí en los sitios de estudio en condición post incendio, esto posiblemente se debe a las especies pioneras, las cuales ocupan rápidamente las áreas libres del medio luego de un incendio, estas poseen rasgos adaptativos similares que hacen que sean las primeras en recolonizar las áreas perturbadas, haciendo que la comunidad vegetal por un tiempo sea menos diversa, pero esto es temporal, ya que esta se diversifica poco a poco hasta equilibrarse nuevamente cuando especies más lentas empiezan a germinar con el paso del tiempo. El cuarto agrupamiento se encuentra conformado únicamente por el sitio Mico Pintado en su condición pre incendio. Este agrupamiento se encuentra completamente del resto y podemos mencionar como especie única de este sitio a la hierba sufruticosa *Hexasepalum teres* y *Stylosanthes viscosa*, esta última cuenta con una gran abundancia en este sitio.

Hablando de abundancia, en este cuarto grupo, es importante destacar que se encuentran especies que están en el resto de sitios, pero su abundancia es mayor en este, especies como *Sida ciliaris*, *Turnera diffusa* y *Diodia apiculata* son un ejemplo de ello. Hay que mencionar también que no hay presencia de especies herbáceas que, si están presentes y muy abundantes en otros sitios de estudio, ejemplo de esto son las especies *Declieuxia fruticosa*, *Eriosema crinitum*, *Ayapana amigdalina*. La disimilitud en la vegetación entre los sitios en condiciones pre incendio puede atribuirse a factores como elevación, clima, edafología y variaciones químicas del suelo. La elevación es especialmente relevante; como indica Lomolino (2021), su aumento puede predecir cambios en la riqueza de especies. Rossatto et al. (2014) también señala que las interacciones entre plantas y variables ambientales, como agua y nutrientes, varían con la topografía, afectando la estructura y composición de la vegetación.

En los sitios de estudio, Mico Pintado tiene una elevación promedio de 171,95 m.s.n.m., menor que Laguna Guayabal (265,3 m.s.n.m) y Loma Lito (262,77 m.s.n.m). Esta diferencia altitudinal puede no

ser mucha, pero podría ser una variable que explique la heterogeneidad de la vegetación entre los sitios de estudio, especialmente con Mico Pintado, el cual mostro tener alta disimilitud respecto a los otros dos sitios. Aunque la diferencia en la altitud entre Laguna Guayabal y Loma Lito no es suficiente para justificar una gran variación en la composición vegetal, la diferencia de estos dos respecto a Loma Lito es significativa, ya que incluso pequeños cambios en la altitud pueden crear microclimas e influir en las comunidades vegetales. Se ha comprobado que la elevación afecta la vegetación, como lo muestra el estudio de Jiménez (2016) sobre las sabanas de Miravalles, que reflejó cambios en la vegetación relacionados con la altitud. El presente estudio es uno relativamente pequeño, y es evidente que es necesario realizar un estudio de mayores proporciones, en el que se evalúe la vegetación a lo largo de un gradiente de elevación y otros factores ambientales como viento, temperatura, pendiente, humedad, factores edáficos entre otros que generen conocimiento y logren explicar con mayor eficacia y exactitud la heterogeneidad de la vegetación entre dos sitios diferentes en condición pre incendio.

Miranda (2005) menciona que, aunque se presume que la diversidad vegetal aumenta con la elevación, hay escasos estudios que verifiquen esta afirmación en el contexto de las sabanas. Asimismo, la investigación sobre los cambios en la vegetación tras un incendio es aún más limitada. Esto subraya la necesidad de enfocar más esfuerzos en el estudio y la conservación de este ecosistema.

Por otro lado, respecto a la heterogeneidad espacial de la vegetación vista en los sitios en condición post incendio, los resultados indican que el fuego afecta la composición de las comunidades vegetales, mostrando poca similitud entre las condiciones pre y post incendio, sugiriendo que el fuego influye positivamente en el aumento de la diversidad de especies vegetales en los sitios estudiados. Lo anterior puede deberse a la buena resiliencia al fuego de plantas de corta vida y eficientes en la adquisición de recursos como las hierbas no gramíneas o forbias e incluso gramíneas, que logran rebrotar rápidamente, al contrario de plantas con ciclos de vidas largos con estrategias orientadas a la conservación de recursos más que en su adquisición, las cuales les toma mucho más tiempo recuperar su biomasa (Roger et al, 2024). Con la eliminación de las gramíneas por el fuego, las cuales ocupan la mayor parte del suelo y no dejan a otras plantas emerger, se abre una oportunidad para la colonización. Aquellas plantas que logran rápidamente rebrotar o germinar rápidamente luego de un incendio se les conoce como pioneras.

El fuego también afecta la dormancia de las semillas que se encuentran en el suelo de muchas especies de plantas de que poseen este rasgo adaptativo al fuego como forma de asegurar su continuidad. Pausas y Lamont (2022), mencionan que esta estrategia de reproducción puede tomar ventaja de vacíos en la vegetación, especialmente aquellos que se generan luego de un incendio. Las

condiciones que se crean post incendio son muy buenas para la germinación y el establecimiento de muchas especies de plantas, especialmente aquellas adaptadas a ambientes con recurrencia de incendios. El fuego crea una brecha única en la vegetación que muchas plantas, especialmente forbias, que son débiles competidoras e intolerantes a la sombra logran y deben aprovechar, ya que más adelante, las gramíneas terminan superándolas y desplazándolas debido a la rápida ocupación de la luz solar y otros recursos. Esto resalta el impacto significativo del fuego en la composición y diversidad de la vegetación, incluso en sitios diferentes.

El fuego también ha provocado que muchas plantas se especialicen en el rápido rebrote post incendio, ya sea desde abajo o por encima del suelo desde sus meristemas. Este rasgo adaptativo al fuego es el más común entre las especies que se encuentran en ambientes con recurrencia de incendios, estas logran realizar su rápido rebrote aprovechando la alta fertilidad del suelo luego de un incendio, permitiendo que las plantas secuestren el carbón del ambiente y a su vez, dirigen el carbón a los meristemas para la rápida regeneración vegetativa (Shen et al, 2023)

5.3 Fenología de la Ciperácea Representativa de Sabana Natural *Bulbostylis paradoxa*

Es importante destacar que la rápida floración de *B. paradoxa* tras un incendio puede deberse por dos factores, el primero es el aprovechamiento de nutrientes disponibles en el suelo como se ha mencionado en la sección anterior de este trabajo, pero también, el inmediato aprovechamiento de nutrientes almacenados en el tallo.

Según Rosalem (2021), la resiliencia de las plantas ante diversas perturbaciones puede depender de sus métodos de almacenamiento de reservas, los cuales varían según el órgano encargado. Estas reservas son cruciales para el desarrollo de las plantas en condiciones ambientales adversas. Rosalem también menciona que, generalmente, los órganos subterráneos son los responsables del almacenamiento en plantas susceptibles al fuego. Esto concuerda con la clasificación del tallo de *B. paradoxa* como un rizoma, ya que este tiene características de almacenamiento al igual que un órgano subterráneo. Además, dado que esta planta se encuentra en un ecosistema propenso a incendios como el de sabana, por lo que se puede considerar como una planta susceptible al fuego.

La *B. paradoxa* ha evolucionado para conservar, alrededor de su tallo, vainas foliares antiguas que protegen la parte central del tallo, la real, del fuego. Pérez (2012) describe este tallo como engrosado debido al recubrimiento de estas vainas, que forman un tallo leñoso de entre 4 y 5 centímetros de grosor. Estas vainas son hojas persistentes que quedan adheridas al tallo y cumplen una función protectora contra la temperatura y el fuego, lo que es un claro rasgo evolutivo en respuesta a su hábitat en ambientes propensos al fuego, como el ecosistema de sabana. En cuanto a la flor de *B.*

paradoxa, se pueden observar predisuestas en la base del cáudice incluso antes de que el fuego estimule la floración. Cuando la planta es activada por el fuego, estas flores comienzan a desarrollarse y brotan de la base del bulbo. Los escapos, que emergen con un color verde intenso, se alargan gradualmente hasta alcanzar su máxima floración. Rodríguez (2014) señala que los escapos pueden medir entre 5 y 23 centímetros de largo, y su cantidad varía según el desarrollo de la floración, observándose más en ejemplares como los de Laguna Guayabal y menos en Loma Lito. Además, los escapos son más gruesos que las hojas, rectos, estriados y pueden ser lisos o presentar algún grado de vellosidad.

Aunque la *B. paradoxa* posee raíces cortas, estas no parecen verse afectadas por el fuego, ya que los incendios que ocurren en los ecosistemas de sabana son por lo general superficiales y no tienen la intensidad necesaria para dañarlas. Además, el viento fuerte en los sitios de estudio podría también disminuir indirectamente la intensidad del fuego al acelerar la combustión de la materia orgánica en el suelo, lo que reduce la duración de las llamas y por lo tanto la combustión.

La *B. paradoxa* posee hojas finas con tonos que van desde anaranjado hasta verde y amarillo, lo cual puede deberse a factores edafológicos, la edad de la planta o a los pigmentos fotosintéticos. Los pigmentos son esenciales para la fotosíntesis, donde los primarios captan luz y los accesorios, como los carotenoides, amplían el espectro de absorción y protegen contra la luz excesiva. El exceso de luz puede blanquear las hojas, revelando los colores de los pigmentos accesorios (Manrique, 2003). Lo anterior podría explicar la coloración con matices naranja presente en varios ejemplares de *B. paradoxa* en los sitios de estudio, ya que en estos sitios de ecosistema de sabana son sitios altos y abiertos donde el sol incide directamente en las plantas y sus hojas.

Las hojas de la *B. paradoxa* son finas, largas y numerosas. Algunas *B. paradoxa* presentan crecimiento de múltiples ejes de floración en una sola planta, es en estos ejes donde se desarrollan tantas las flores como las hojas, lo que permite que las hojas se agrupen, creando una estructura foliar que se asemeja a una corona, al cual resalta a la vista en el estrato herbáceo aún con la gran cantidad de gramíneas alrededor. Debido a esta característica se decidió realizar mediciones de la “corona de hojas” de las *B. paradoxa* en seguimiento para determinar su diámetro tanto en condición pre y post incendio.

Se observó que el diámetro de la corona de hojas es mayor en las mediciones realizadas en condición pre incendio en los sitios de estudio. Esto se debe, probablemente, a que las hojas estaban completamente desarrolladas en esa etapa, mientras que en la condición post incendio las hojas aún se encontraban en proceso de desarrollo. La medición del diámetro de *B. paradoxa* se llevó a cabo mediante dos mediciones en forma de “X” en la parte central de la planta, utilizando las hojas como

referencia. En los ejemplares con un solo bulbo o eje de floración, se utilizó esta estructura como punto central para las mediciones. En cambio, en los ejemplares con múltiples ejes de floración, se determinó el centro de la planta o de su corona de hojas y se realizaron las mediciones a partir de ese punto. Posteriormente, se calculó un promedio de las dos mediciones para obtener un valor unificado que sirviera como referencia del diámetro de la planta.

Para determinar si la diferencia vista entre los diámetros de la corona de hojas de las *B. paradoxa* en Laguna Guayabal ($0,00023456 < 0,005$) y Loma Lito ($0,00094725 < 0,005$) en condición pre y post incendio es significativa, se realizaron prueba de t de significancia. En ambos sitios hubo significancia estadística en los resultados indicando que si hay diferencia en las medidas de la corona de hojas en condición post incendio. También se comparó los diámetros de la corona de hojas de Laguna Guayabal y Loma Lito únicamente en condición post incendio para determinar si hay alguna diferencia significativa. La prueba evidencia que no hay una diferencia significativa ($0,50627 > 0,005$), aunque el valor está muy cerca del umbral de significancia, no es suficiente para rechazar la hipótesis nula, sin embargo, la prueba de Cohen's D es de 0,2351 lo que determina que, si hubo un efecto de cambio entre los diámetros de ambos sitios, aunque esta diferencia es pequeña, aún tiene relevancia en el estudio.

Es importante destacar que estas pruebas de significancia se están llevando a cabo con muestras pequeñas, lo cual limita la representatividad y precisión de los resultados. Lo ideal sería contar con muestras más grandes y representativas, que permitirían obtener resultados más confiables y precisos.

Respecto a su flor, al emerger, tiene una coloración amarilla clara, que se intensifica a un amarillo "huevo" en su máximo desarrollo, creando un contraste llamativo con el verde de los escapos y el negro de las cenizas en el entorno. La floración de la *B. paradoxa* es un fenómeno muy interesante por las circunstancias en las que se da.

Un aspecto crucial del estudio de *B. paradoxa* es su floración, especialmente tras un incendio. Aunque es interesante observar la velocidad de floración en estas condiciones, también se investiga si la planta puede florecer sin fuego. Durante los recorridos del estudio, solo se encontró un ejemplar con flor en Laguna Guayabal antes de la quema de las parcelas, lo que sugiere que puede florecer independientemente del fuego, aunque esto parece ser un caso muy raro. Fidelis et al (2019) en sus estudios de la *B. paradoxa*, no hallaron ejemplares con flor en terrenos sin quemar ni en quemados meses después del incendio, incluso durante diferentes temporadas. Lo anterior confirma que el caso en Laguna Guayabal es raro, ya que este sitio no se ha quemado desde el 25 de abril del 2023, esta información de que no hubo incendios recientes en Laguna Guayabal proviene del Parque Nacional Guanacaste, que tiene registros precisos de incendios en las zonas aledañas al parque (Ver Anexo 9).

Miranda et al (2024) revelan que, aunque *B. paradoxa* es generalmente dependiente del fuego para florecer, también puede hacerlo si se le remueven las hojas. Su estudio mostró que, aunque la floración es mayor en ejemplares quemados y estos producen semillas más viables, aquellos con hojas cortadas también florecieron, aunque en menor cantidad. Esto indica que, si bien el florecimiento sin fuego es posible, sigue siendo raro y no elimina la dependencia de la planta del fuego. En condiciones post incendio, la floración de *B. paradoxa* fue notable, destacando la importancia del fuego en su fenología.

Aunque se observó floración en todos los sitios, Laguna Guayabal presentó un desarrollo significativamente mayor que Loma Lito. La floración aumentó de manera evidente en los análisis de 24 y 48 horas post incendio, mientras que a las 12 horas fue poco desarrollada para ambos sitios, por ello no se realizó conteos de floración en este momento.

La frecuencia de incendios podría haber influido en las diferencias de floración entre Laguna Guayabal y Loma Lito tras el fuego. Según Pausas (2022), la frecuencia selecciona rasgos distintivos en las especies. Aunque el fuego se considera un proceso evolutivo, su ecología es poco explorada en la literatura (Pausas y Keeley, 2023). Diferentes regímenes de fuego generan variaciones en los rasgos de las poblaciones vegetales, especialmente adaptativos. Según el Programa del Fuego del Parque Nacional Guanacaste (Didi. Guadamuz, comunicación personal, 5 de febrero de 2024), Loma Lito no ha tenido registro de incendios desde 1997, lo que puede haber dejado a las *B. paradoxa* de ese sitio menos adaptadas, haciéndolas más vulnerables y con una reacción menos efectiva al fuego. En contraste, en Laguna Guayabal, donde se queman cada uno o dos años (ver Anexo 9), los ejemplares presentan mayor resistencia al fuego que se ve reflejado en una mayor cantidad de floración, en la rapidez del desarrollo de la floración, así como también menor mortalidad, especialmente de especies adultas.

En Loma Lito, la floración fue en general menos desarrollada; los ejemplares de este sitio a las 48 horas mostraron floración similar a la de Laguna Guayabal a las 24 horas, lo que se consideró como una floración tardía. Este tipo de floración tardía se analizó en dos etapas: indicios de floración y floración parcial, para cuantificar la disparidad entre ambos sitios. Laguna Guayabal no solo superó a Loma Lito en la velocidad de desarrollo de la floración, sino también en la cantidad de ejemplares que florecieron en el sitio, en la cantidad de flores por sitio y en la cantidad de flores por eje de floración, evidenciando así el rendimiento superior de las plantas tras el incendio en Laguna guayabal, sitio que presenta incendios recurrentes contrario a Loma Lito.

Se realizaron pruebas t para determinar la significancia entre la cantidad de floración en los análisis de 24 y 48 horas post incendio en Laguna Guayabal y Loma Lito. Ambos sitios presentan

significancia estadística en el aumento de la floración entre ambos análisis, siendo el valor p de significancia en Laguna guayabal ($0.0017 < 0,005$) y Loma Lito ($0.0173 < 0,005$). El aumento en la floración en estos sitios, por lo tanto, no es producto del azar y realmente en este intervalo de tiempo entre 24 y 48 horas, se da un incremento en el desarrollo de la floración como la vista en los resultados.

También se determinó la significancia de entre la diferencia de la cantidad de floración entre Laguna Guayabal y Loma Lito en el análisis de 48 horas post incendio. El valor p de Welch evidencio que la cantidad de floración en Laguna Guayabal es realmente superior y significativa estadísticamente en comparación a Loma Lito, teniendo un valor p de 0,0014801 el cual es menor al umbral de significancia que es 0,05, por lo que se concluye que la diferencia en la floración es bastante grande. Lo anterior se refuerza con la medida de Cohen's D (1,105), el cual indica que la diferencia entre la floración es grande.

Lo anterior evidencia aún más como Loma Lito en su situación de no haberse quemado en mucho tiempo claramente se plasma en los resultados demostrando que las *B. paradoxa* de este sitio, no reacción de la misma forma que las encontradas en Guayabal, por lo tanto, aspectos como la cantidad de floración y la velocidad del desarrollo de la misma se ven comprometidos.

Los estudios sobre la floración de *B. paradoxa*, como el de Fidelis et al (2019), indican que algunos ejemplares pueden tener hasta treinta flores, pero no profundizan en la comparación de la cantidad de flores entre parcelas o sitios. Las diferencias en floración pueden deberse a varios factores, siendo la topografía y la frecuencia de incendios aspectos clave. En Laguna Guayabal, el terreno es amplio y plano, con escasa presencia de rocas, mientras que en Loma Lito, el terreno es inclinado y rocoso. Esta diferencia en topografía podría disminuir la intensidad del fuego al interrumpir la continuidad del material vegetal, lo que a su vez podría afectar la floración de *B. paradoxa*. Keeley y Pausas (2022) destacan que el fuego necesita una cantidad continua de biomasa para propagarse adecuadamente, lo que sugiere que un terreno con mucha roca podría reducir significativamente la intensidad del fuego.

Aún no se comprende completamente si la floración de la *B. paradoxa* post incendio se debe al calor, al humo u otros factores. Miranda et al (2024) señalan que la estimulación de la floración puede estar relacionada con efectos específicos del fuego, como la remoción de hojas y condiciones del suelo tras el incendio, así como la edad de la planta o una combinación de estos factores. Tal y como lo menciona Miranda y sus coautores, la edad de la planta es un factor determinante en la floración de la *B. paradoxa*, ya que, los resultados de este trabajo evidencian que ningún ejemplar juvenil de *B. paradoxa* floreció luego de la acción del fuego, es más, son estos ejemplares juveniles los que poseen la mayor tasa de mortalidad en las parcelas.

Un resultado inesperado de las quemadas en Laguna Guayabal, fue la floración de al menos cinco ejemplares de *B. paradoxa* vistos en las cercanías fuera de las parcelas en este sitio. Sin embargo, en Loma Lito este fenómeno no se observó, por lo que se podría suponer que las plantas que regularmente se queman en Laguna Guayabal tienen una percepción del fuego o de sus componentes como el humo mucho mayor que las de Loma Lito, sitio que no se ha quemado en muchos años.

Aunque este aspecto iba a ser evaluado más a fondo, las limitaciones de tiempo y recursos impidieron un análisis completo. Sin embargo, es relevante discutirlo. No se comprende completamente qué efecto del fuego estimula la floración en *B. paradoxa*; podría ser el calor, el humo, o incluso la remoción manual de hojas, como indica Miranda et al (2024). Aunque el fuego quema las hojas, también parece tener un efecto adicional, ya que la floración con fuego es más abundante que sin él. Los ejemplares fuera de las parcelas, aunque florecieron, mostraron una floración menos desarrollada (tardía) y con menos flores por planta en comparación con aquellos dentro de las parcelas, que recibieron el fuego directamente. Dado que cada parcela tiene una ronda con un ancho de metro y medio, esto sugiere que incluso en la lejanía de las plantas al humo y/o al calor del fuego en la parcela, fue suficiente para estimular a las plantas e incentivar su floración, pero no al mismo nivel que las plantas quemadas directamente.

Aunque el estudio se centró en la evaluación de la floración de *B. paradoxa* a las 24 y 48 horas post incendio, se pudieron evaluar la condición de la floración de las plantas en fechas posteriores. Los resultados indican que el pico máximo de floración (apertura floral), ocurre aproximadamente cinco días después del incendio, no en las primeras 24 o 48 horas. Los primeros cuatro días lo que ocurre principalmente es la elongación del escapo de las flores. Las flores pueden permanecer en la planta hasta diez días, aunque podría ser aún más, ya que no se realizaron evaluaciones posteriores a este tiempo. En cuanto al rebrote de las hojas, en Laguna Guayabal, los ejemplares mostraron signos de rebrote a los diez días post incendio aproximadamente, mientras que en Loma Lito, algunos ejemplares presentaron rebrote a los ocho días. Esto sugiere que el inicio del rebrote de hojas en *B. paradoxa* podría ocurrir en ese intervalo de tiempo.

Además del estudio de la floración de *B. paradoxa*, se consideraron variables como las plantas que, a pesar del estímulo del fuego, no florecieron. También se dio especial importancia a la mortalidad de ejemplares, ya que, aunque esta especie se considera muy resistente al fuego, resulta fundamental documentar cualquier caso de mortalidad dentro de la muestra evaluada.

Aunque se proporcionó seguimiento a diez ejemplares de *B. paradoxa* en la mayoría de los sitios, en Laguna Guayabal hay una mayor cantidad de esta planta respecto a Loma Lito, donde los ejemplares

en seguimiento corresponden básicamente al total de ejemplares que se encuentran dentro de las parcelas. En Mico Pintado, la falta de quema imposibilitó contabilizar el total de los ejemplares dentro de las parcelas debido al denso estrato herbáceo. En general, se realizó un conteo del total de *B. paradoxa* en cada parcela para evaluar la tasa de floración y la mortalidad tras el fuego en intervalos de 12, 24 y 48 horas post incendio. Los resultados indican un alto porcentaje de floración y baja mortalidad en comparación con los ejemplares totales. En Loma Lito, la mortalidad de individuos y la cantidad de ejemplares sin flor son mayores que en Laguna Guayabal. Además, la floración en Loma Lito está menos desarrollada, esto podría deberse a que las plantas de este sitio no están tan acostumbradas al fuego como las de Laguna Guayabal, donde los incendios son más frecuentes.

Como se indicó anteriormente, la mortalidad es un factor importante en el estudio de la *B. paradoxa*, una especie que se conoce por tener características morfológicas que la protegen del fuego. La mortalidad de ejemplares de *B. paradoxa* es similar en Laguna Guayabal y Loma Lito, aunque en Laguna, dos de las tres muertes corresponden a plantas juveniles, lo que sugiere que estas son más propensas al fuego. A pesar de esto, la mortalidad es baja en comparación con la cantidad de ejemplares que florecieron. Poco se conoce sobre la mortalidad de *B. paradoxa* tras incendios, y no hay estudios que aborden este tema específicamente (Fidelis et al, 2019; Rodríguez, 2014; Rosalem et al, 2022; Rosalem, 2021). La mortalidad puede depender de la edad, ya que tanto plantas jóvenes como viejas pueden ser más susceptibles al fuego. Aunque en Laguna Guayabal de las tres muertes, dos son de juveniles, el resto de muertes en este sitio y en Loma Lito corresponden a ejemplares adultos, por lo que la causa de muerte también puede deberse a la vejez de la planta que podría disminuir su resistencia al fuego, o como lo indica Kolbek y Válka (2008), puede deberse a la intensidad del fuego por la cantidad de materia orgánica (gramíneas) en el medio, o una combinación de ambas. Se sugiere realizar un estudio más exhaustivo que compare la mortalidad de ejemplares jóvenes y adultos a lo largo de diferentes intensidades y frecuencias de fuego.

Después de la quema de las parcelas, se produjo un incendio en Laguna Guayabal el 18 de abril de 2024 que quemó todo el terreno circundante a las parcelas. Aprovechando esta situación, se realizaron evaluaciones de la tasa de floración de *B. paradoxa* mediante dos transectos en los alrededores de las parcelas, lo que permitió evaluar una muestra más abundante. El análisis mostró una floración positiva, con un alto porcentaje de ejemplares floreciendo tras el incendio y sin indicios de mortalidad en ninguno de los transectos. Sin embargo, esta observación no es definitiva, ya que no se dio seguimiento a la mortalidad como en las parcelas. Es fundamental destacar la relación entre la rápida floración y su estimulación por el fuego. Esta floración es una adaptación de *B. paradoxa* a entornos

propensos a incendios, permitiéndole competir con otras plantas del estrato herbáceo. La eliminación de competencia por el fuego permite a *B. paradoxa* florecer rápidamente, dispersar sus semillas y reproducirse. Según Fidelis (2019), esta rápida floración proporciona una ventaja significativa al permitir que la planta florezca y se reproduzca en un espacio libre de competencia.

VI. Conclusiones

El estudio de la composición florística pre y post incendio en los sitios de estudio ha permitido identificar gran variedad de especies repartidas en pocos géneros y familias, esta composición de la vegetación es características de los ecosistemas de sabana.

El hábito de crecimiento más abundante encontrado entre las plantas encontradas en los sitios de estudio corresponde a la hierba sufruticosa, una clase de hierba con características morfológicas que exhiben rasgos adaptativos a ambientes secos y propensos al fuego.

El índice de Simpson muestra que en los dos sitios de estudios donde se realizaron las quemas, en condición post incendio existe un aumento en la diversidad, sin embargo, la prueba t de diversidad indica que solo hay diferencias significancia en el cambio de diversidad en Loma Lito.

El estudio de la vegetación en los sitios de estudio también evidenció una dominancia de especies de gramíneas presente en las parcelas a pesar del tamaño de estas, esto demuestra que existe gran diversidad de gramíneas en el ecosistema de sabana.

Los análisis pre y post incendio en los sitios de estudio revelaron que el fuego reduce en gran medida la cobertura de gramíneas y vegetación en el suelo luego de un incendio, esto a su vez incide directamente en el aumento del área sin vegetación del suelo y la visibilidad de la cobertura de rocas.

Los resultados evidencian que existe heterogeneidad espacial en la vegetación entre los sitios de estudio en condiciones pre incendio, esto nos indica que las especies vegetales son diferentes entre los sitios de estudio, especialmente en Mico Pintado, donde la vegetación difiere mucho en comparación a los otros dos sitios de estudio.

En condición post incendio, el cambio en la heterogeneidad espacial de la vegetación se le puede atribuir a la respuesta de las plantas al fuego. Se evidencio un cambio significativo en la composición de especies en los sitios de estudio entre la condición pre y post incendio, dejando ver el impacto que tiene el fuego en la composición y modelado de las comunidades vegetales en el ecosistema de sabana.

La vegetación en los sitios de estudio en condición pre incendio es menos similar entre si (más heterogénea) que la vegetación en condición post incendio donde la similitud se incrementa (más homogénea). Esto ser puede deber a las especies pioneras que tienden a colonizar las áreas libres y son más similares en diferentes sitios.

Aunque la *B. paradoxa* empieza a mostrar signos de floración a las 24 horas post incendio, el pico máximo de floración donde se da la apertura o eclosión floral sucede aproximadamente a los cinco días posterior al incendio.

La floración post incendio de la *B. paradoxa* fue más numerosa y mostró un desarrollo superior entre los análisis de 24 y 48 horas post incendio en Laguna Guayabal en comparación a Loma Lito donde la floración fue tardía y menos numerosa.

Las dos etapas de floración para describir la floración tardía de la *B. paradoxa* en los análisis de 24 y 48 horas post incendio en este trabajo: indicios de floración y floración parcial, se encuentran principalmente representadas en Loma Lito.

Además de la floración de ejemplares de *B. paradoxa* dentro de las parcelas posterior a las quemas de las mismas, se observó al menos cinco casos de floración en las cercanías fuera de estas, lo que indica que la floración también se puede activar por otros medios relacionados al fuego, ya sea radiación del calor o el humo.

La tasa de floración total de los ejemplares de *B. paradoxa* dentro de las parcelas es mayor que la de ejemplares sin floración y de mortalidad, siendo especialmente destacable en Laguna Guayabal, ya que, en este sitio, los resultados se basan en una muestra cuantitativamente superior de ejemplares en las parcelas, en comparación con Loma Lito.

En Laguna Guayabal se encontraban los únicos ejemplares juveniles de *B. paradoxa* en seguimiento, la mortalidad de estos fue la mitad de la mortalidad total mostrada en este sitio de estudio, esto nos podría indicar que las especies jóvenes son más vulnerables al fuego que las especies adultas.

Los ejemplares juveniles de *B. paradoxa* en seguimiento no mostraron floración en ningún momento a lo largo del estudio, indicando así que aún se encuentran en desarrollo.

Las estructuras florales de la *B. paradoxa* se mantienen en pie incluso diez días después del incendio, aunque en este punto, se nota que las flores se encuentran al final de su vida completamente marchitas.

El rebrote de las hojas de las *B. paradoxa* no se da hasta aproximadamente los 8 a 10 días post incendio, lo que indica que el rebrote es lo último en suceder pasada la perturbación.

VII. Recomendaciones

Es importante realizar una evaluación de las gramíneas presentes en los sitios de estudio donde se incluya sus abundancias para determinar así con certeza cual es la especie dominante en cada sitio.

Para realizar estudios de composición florística del estrato herbáceo es mejor hacerlo en épocas del año donde haya mayor floración, ya que la identificación se facilita mucho cuando se tiene acceso a las partes reproductivas de la planta.

Es crucial incrementar el número de parcelas en cada sitio de estudio para mejorar la representatividad de las muestras y obtener resultados más robustos. Además, permitiría obtener conclusiones más precisas y generalizables sobre la composición de las especies en cada sitio de estudio.

Es fundamental realizar un estudio de la heterogeneidad espacial de la vegetación que contemple mayor número de parcelas en cada sitio de estudio que permitan obtener resultados más representativos y precisos del efecto del fuego en la vegetación.

En futuros estudios de la vegetación del estrato herbáceo, parece necesario tomar en cuenta un gradiente altitudinal para determinar con certeza si la diferencia en la altitud entre dos sitios, aunque no sea mucha, juega un papel importante en la causa de la heterogeneidad espacial de la vegetación en condición pre incendio.

Parece necesario estudiar variables como los factores edafológicos del suelo, la velocidad del viento, el clima, la temperatura y la pendiente en futuros trabajos sobre la vegetación en diferentes sitios. Este análisis podría proporcionar información clave para abordar la heterogeneidad espacial de la vegetación en condiciones pre incendio entre distintas áreas.

Es conveniente realizar un estudio más amplio en cuanto a tamaño y número de parcelas para evaluar con mayor eficacia la mortalidad entre ejemplares juveniles y adultos de *Bulbostylis paradoxa* y así determinar en qué estado de desarrollo es más vulnerable la planta al fuego.

Es importante evaluar a fondo de qué manera se incentiva la floración de la *B. paradoxa* en las cercanías fuera de las parcelas luego de las quemadas prescritas, para poder determinar con exactitud que efecto indirecto del fuego es lo que hace que se incentive su floración.

Es necesario realizar un análisis profundo de las reacciones químicas que suceden en la *B. paradoxa* que expliquen la rápida floración de esta posterior a la quema.

VIII. Bibliografía

- Aguilar, M.G., León, G.A.P., y Mejía, F.D.B. (2021). Botánica aplicada: Fabaceae. Revista Iztacala. https://www.researchgate.net/publication/348788324_Familia_Fabaceae
- Alianza por la Resiliencia Guatemala. (2014). Módulo de Apoyo Metodológico de Manejo y Restauración de Ecosistemas, Cruz Roja Guatemalteca, CARE Guatemala, Asociación Vivamos Mejor, Cordaid, Cáritas Diócesis de Zacapa, Centro del Clima de la Cruz Roja y Media Luna Roja, Wetlands International, 35p. https://lac.wetlands.org/wp-content/uploads/sites/2/dlm_uploads/2017/05/M%C3%B3dulo-Manejo-y-Restauraci%C3%B3n-de-Ecosistemas.pdf
- Artavia, L. G. y Ávalos, G. (2020). Historia Natural del ecosistema de sabana del Valle del Rio General, Costa Rica. Revista Geográfica, (161), 11-28. <https://doi.org/10.35424/regeo.161.2020.861>
- Artavia, L. G. (2011). Las sabanas húmedas del sur de Costa Rica: Una caracterización fitogeográfica. Revista Geográfica de América Central. 2, 1-14. <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744820620.pdf>
- Atilio, E. (2020). Conceptos de ecología: La comunidad vegetal. [Comunidad veg ecopa.pdf \(unca.edu.ar\)](http://unca.edu.ar/Comunidad_veg_ecopa.pdf)
- Badii, M. H., Landeros, J. y Cerna, E. (2007). Papel de los ecosistemas en la sustentabilidad. Cultura Científica y Tecnológica. (21), 19-28. [Vista de Núm. 21 \(4\): Julio–Agosto, 2007. Año 4, No 21](http://www.cct.org.ve/Vista_de_Núm.21(4):_Julio-Agosto,_2007._Año_4,_No_21)
- Bernardino, P. N., Dantas, V. L., Hirota, M., Pausas, J. y Oliveira, R. S. (2021). Savanna-Forest Coexistence Across a Fire Gradient. Ecosystems. 25, 279-290. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00654-4>
- Brathen, K.A., Pugnaire, F.I. y Bardgett, R.D. (2021). The paradox of forbs in grasslands and the legacy of the mammoth steppe. Frontiers in Ecology and the Environment. 19(10), 584-592. <https://doi.org/10.1002/fee.2405>
- Cadena Z, D.A., Flores G, J. G., Flores R, A.G. y Lomelí Z, M.E. (2020). Efecto de incendio en la vegetación de sotobosque y propiedades químicas de suelo de bosques templados. Agroproductividad. 13(4), 65-72. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1684>
- Calderón P, J.M. y Moreno, C.E. (2019). Diversidad beta basada en índices de disimilitud: Su partición en componentes de recambio y diferencias en riqueza. En Moreno, C.E. (Ed). La biodiversidad en un

- mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio. Libermex, 203-222.
[Diversidad beta como disimilitud: su partición en componentes de recambio y diferencias en riqueza](#)
- Caranqui, J., Lozano, P. & Reyes, J. (2016). Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(1), 33-45.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.86>
- Cochrane, M. (2009). *Tropical Fire Ecology*. Springer Science & Business Media.
https://books.google.co.cr/books?id=6J6fWSULMVEC&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Comité Regional de Recursos Hídricos. (2008). El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Comité Regional de Recursos Hídricos.
<http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/CambioClimatico/climaVariabilidadCambioClimaticoCR.pdf>
- CONIFOR. (2014). Estrategia nacional de manejo integral del fuego en Costa Rica 2012-2021. San José, Costa Rica: CONIFOR, SINAC. [Estrategia Nacional Manejo del Fuego.pdf \(sinac.go.cr\)](#)
- Daibes, L. F., Pausas, J. G., Bonami, N., Nunes, J., Silveira, F. A. O. y Fidelis, A. (2019). Fire and legume germination in a tropical savanna: ecological and historical factors. *Annals of Botany*, 123 (7), 1219-1229. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz028>
- Dávila A, P.D, Sánchez K, J. G. y Cabrera M, L.I. (1993). Las gramíneas: Características generales e importancia. *Boletín del Instituto de Botánica*, 1(6), 397-421. [Las-Gramineas-caracteristicas-generales-e-importancia](#)
- Duran G, R. y García C, G. (2010). Distribución espacial de la vegetación. En Durán, R. y Méndez, M. (Eds), *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, 131-135.
[Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán](#)
- Elizondo C, L.H. y Jiménez M, Q. (1987). La sabana arbolada "El Escobio", Liberia, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Biológica Tropical*, 36(2A), 175-185.
<https://tropicalstudies.org/rbt/attachments/volumes/vol36-2A/01>

- Espinoza, M. (2023). Temporada de incendios forestales 2023 Área de Conservación Guanacaste. [Temporada de incendios forestales 2023 Área de Conservación Guanacaste - Área de Conservación Guanacaste](#)
- Fallas, J. (2015). Mapas de Ecorregiones y Ecosistemas de Costa Rica con una visión ecosistémica. [Mapa de Ecorregiones y Ecosistemas de Costa Rica con una visión ecosistémica 2015.pdf](#)
- Fidelis, A. (2019). Esta es la única planta del mundo que inicia su floración 24 horas después de un incendio. *ABC Natural*. <https://www.abc.es/natural/biodiversidad/abci-esta-unica-planta-mundo-inicia-floracion-24-horas-despues-incendio>
- Fidelis, A., Rosalem, P., Zanzarini, V., Camargos, L, y Martins, A. (2019) From ashes to flowers: a savanna sedge initiates flowers 24 h after fire. *Ecology*, 100 (5). <https://doi.org/10.1002/ecy.2648>
- Font-Quer, P. (2001). Diccionario de botánica. Editorial Labor. <https://drive.google.com/file/d/0B1WpiiFXFhLnZjhkZDBkZTktYTQwMS00MDAxLTlhMjctMTAxNDIxYjc3Mjc2/view?hl=en&pli=1&resourcekey=0-0er4m-NfG2jjkDZ3eEZgQQ>
- Gázquez G, M. (2022). Estudio sobre la regeneración de las especies vegetales tras el incendio forestal de las Cumbres Calicanto (Torrent, Valencia). [riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/188979/Gazquez - Estudio sobre la regeneracion de las especies vegetales tras el incendio forestal de la....pdf](http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/188979/Gazquez_-_Estudio_sobre_la_regeneracion_de_las_especies_vegetales_tras_el_incendio_forestal_de_la....pdf)
- Gonzalo, C., Burchard, C., Rolo, V., Gonzales, R., Morenos, G. y Martin, M. (2021). Análisis de la diversidad funcional del estrato herbáceo en un ecosistema de dehesa a partir de datos hiperespectrales in situ. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 49(1). <http://doi.org/10.18172/cig.5325>
- Hannula, E., Kielak, A., Steinauer, K., Huberty, M., Jongen, R., De Long, J., Heinen, R. y Bezemer, M. (2019). Time after Time: Temporal Variation in the Effects of Grass and Forb Species on Soil Bacterial and Fungal Communities. *mBio*, 10(6). <https://doi.org/10.1128/mbio.02635-19>
- Herrera, B., Zamora, N. y Chacón, O. (2015). Lista roja de los ecosistemas terrestres de Costa Rica: Informe final de proyecto. CATIE, Turrialba-Costa Rica. 75p.
- Jardín Botánico Carlos Thays. (enero del 2014). Armado de un herbario. <https://educacionjbct.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/01/armado-de-un-herbario.pdf>

- Jiménez, J. (2016). Revisión taxonómica de la familia Aristolochiaceae en Costa Rica y flora vascular de las sabanas Miravalles, Volcán Miravalles, Costa Rica [Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica]. https://natehartley.weebly.com/uploads/8/6/8/3/86830842/msc_tesis_j.e._jim%C3%A9nez.pdf
- Jones, G. y Álvarez, B. (2018). Dinámica de incendios en el Área de Conservación Guanacaste 1997-2017: perspectivas ecológicas para el manejo integral del fuego, *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 16(31), 51-70. <https://doi.org/10.15359/prne.16-31.4>
- Keeley, J. E. y Pausas, J.G. (2019). Distinguishing disturbance from perturbation in fire-prone ecosystems. *International Journal of Wildland Fire*, 28(4), 282-287. <https://doi.org/10.1071/WF18203>
- Kolbek, J. y Válka A, R.J. (2008). Impact of Cattle, Fire and Wind in Rocky Savannas, Southeastern Brazil. *Environmentalica*, 22, 11-130. https://www.tkv.cz/pdf/periodika/ActaUniversitarisCarolineaEnvironmental/22/111_130.pdf
- Kunst, C., Bravo, S., Moscovich, F, Herrera, J., Godoy, J. y Vélez, S. (2003). Fecha de aplicación de fuego y diversidad de herbáceas en una sabana de *Elionorus muticus* (Spreng) O. Kuntze. *Revista chilena de historia natural*. 76(1), 105-115. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2003000100010>
- Lomolino, M. V. (2001). Elevation gradients of species-density, historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10, 3–13. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2001.00229.x>
- Lane, I.G., Wolfen, J., Watkins, E. y Spivak, M. (2019). Testing the Establishment of Eight Forbs in Mowed Lawns of Hard Fescue (*Festuca brevipila*) for Use in Pollinator Conservation. *HortScience*, 54 (12), 2150-2155. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14336-19>
- López, B., Hines, P. y Ash, C. (2022). The unrecognized value of grass. *Science*, 377(6606), 590-591. <https://doi.org/10.1126/science.add6362>
- López, M.G. y Gonzalez, A.M. (2017). MicroMorfología y estructura de los frutos en *Bulbostylis* (cyperaceae) y su valor sistémico en las especies de América austral. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52(1), 69-87. [v52n1a07.pdf \(scielo.org.ar\)](https://doi.org/10.31042/revista.sab.52.1.69-87)
- Luz B, G. (2011). Propagación en pastizales naturales: rizomas y estolones vs. semillas ¿quién gana? *Presencia*, 58, 1-3. <https://www.produccion->

- animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20naturales/180-rizonas_estolones.pdf
- McDonald, J.H. (2014). Handbook of Biological Statistics. (3ª ed.). Sparky House Publishing.
<https://www.biostathandbook.com/HandbookBioStatThird.pdf>
- Madrigal, L. A y. Vargas C, V. (2016). Densidad del estrato herbáceo y su relación con luminosidad, pH y cantidad de hojarasca en la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, San Ramon, Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED, 8(2), 195-199.
- Manrique R, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas*, 12(1), 1-11. [*Redalyc.Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis](#)
- Manzanilla, G., Mata, J., Treviño, E., Aguirre, O., Alanís, E. y Yerena, J. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 95-123.
- Meza, M.C y Armenteras, D. (Eds.). (2023). La paradoja del fuego: Del contexto internacional al caso de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C, Colombia. 150 pp. [La-paradoja-del-fuego-del-contexto-internacional-al-caso-de-Colombia.pdf](#)
- Meléndez, A. (2015). Climatología. San José, C.R.: EUNED
- MINAE., SINAC., CONAGEBIO. y FONAFIFO. (2018). Sexto Informe Nacional de Costa Rica ante el Convenio de Diversidad Biológica. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo - Apoyo técnico para que las Partes Elegibles desarrollen el Sexto Informe Nacional para el CDB (6NR-LAC, SecCDB, GEF, PNUD), Costa Rica
- Miranda, H.S., Togni, P.H.B., Dantas-Junior, A.B., Munhoz, C.B.R., Sato, M.N. y Franco, A.C. (2024). Beyond fire: Flower production naturally occurs and is also influenced by leaf removal in a Neotropical savanna herb. *PLoS ONE* 19(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305098>
- Miranda, T.B. (2005). Comparación de la composición y estructura florística de las sabanas montanas en un gradiente altitudinal, al noreste de apolo, anmi madidi (la paz-bolivia) [Tesis de grado para optar al título de Licenciatura en Biología, Universidad Mayor de San Andres]. Madidi Project.

- Molina, D. (2000). Planes de quemas controladas. Cuadernos de la S.E.C.F, (9), 265-279.
https://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/9205/9123
- Murillo, F. A. (9 de septiembre del 2024). Entrevista al encargado de la propiedad privada en Mico Pintado: Tercer sitio de estudio [Archivo de audio]. SoundCloud. https://soundcloud.com/sinner-murillo/entrevista-al-encargado-de-la-propiedad-privada-en-mico-pintado-tercer-sitio-de-estudio/s-xM0lvBU89e6?si=5f3122eb2a7b4a73b76f1246917ea4b8&utm_source=clipboard&utm_medium=text&utm_campaign=social_sharing
- Myers, R. (2006). Convivir con el fuego: Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego. The Nature Conservancy.
https://conservationgateway.org/Documents/el_manejo_integral_del_fuego.pdf
- Pérez, F. e Ibarra, P. (2004). Procesos de regeneración vegetal en comunidades incendiadas (Prepirineo oscense). https://jolube.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/03/perez_ibarra_2004.pdf
- Pausas, J. (2017). ¿Por qué se quema antes una sabana que un bosque? Cinco cuestiones sobre inflamabilidad e incendios. Ciencia para llevar. [¿Por qué se quema antes una sabana que un bosque? Cinco cuestiones sobre inflamabilidad e incendios](https://www.cienparalleva.com/que-se-quema-antes-una-sabana-que-un-bosque-cinco-cuestiones-sobre-inflamabilidad-e-incendios/)
- Pausas, J. y Keeley, J. (2022). Evolutionary Ecology of Fire. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 53, 203-225. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102320-095612>
- Pausas, J. y Keeley, J. (2021). Wildfires and global change. Front Ecol Environ, 19(7), 387-395.
<https://doi.org/10.1002/fee.2359>
- Pausas, J. y Keeley, J. (2009). A burning story: The role of fire in the history of life. BioScience, 59(7), 593-601. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>
- Pausas, J. y Lamont, B. (2022). Fire-released seed dormancy- a global synthesis. Biological Reviews. 97, 1612-1639. <https://doi.org/10.1111/brv.12855>
- Pérez, N. (2012). Flora de Veracruz. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz.
http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenes/FLOVER/157_Cyperaceae.pdf

- Plana, E., Font, M. y Serra, M. (2016). Los incendios forestales, guía para comunicadores y periodistas. Proyecto eFIRECOM. Ediciones CTFC. 32 pp. [Los Incendios forestales: Guía para comunicadores y periodistas.pdf](#)
- Rodríguez, A.C. y Maranhão E, M.E. (2009). Morphoanatomy of the stem in Cyperaceae. Acta Botánica Brasilica. 23(3). <https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000300030>
- Rodríguez, C.A., Zirondi, H.L. y Fidelis, A. (2021). Fire frequency affects fire behavior in open savannas of the Cerrado. Forest Ecology and Management, 482. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118850>
- Rodríguez, D. (2014). *Bulbostylis paradoxa* (Cyperaceae), nuevo registro para la flora de El Salvador. Phytoneuron, 71, 1-3. <https://www.phytoneuron.net/2014Phytoneuron/71PhytoN-Bulbostylisparadoxa.pdf>
- Rodríguez, D., Morales, S., Ruiz, L. y Echeverry, Z. (2021). La flora y la vegetación del bosque seco tropical Hernán Victoria Mena. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/351427650 LA FLORA Y LA VEGETACION DEL BOSQUE SECO TROPICAL HERNAN VICTORIA MENA](https://www.researchgate.net/publication/351427650_LA_FLORA_Y_LA_VEGETACION_DEL_BOSQUE_SECO_TROPICAL_HERNAN_VICTORIA_MENA)
- Roger G, A., Moreira, B. y Pausas, J. (2024). Global plant responses to intensified fire regimes. Global Ecology and Biogeography, 33(8). <https://doi.org/10.1111/geb.13858>
- Rosalem, P (2021). Alterações morfológicas e fisiológicas na estrutura vegetativa de *Bulbostylis paradoxa* associadas ao seu rápido florescimento no pós fogo. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ba1082b4-fad1-404f-b857-157a409aa2bb/content>
- Rosalem, P. F. (2021). Alterações morfológicas e fisiológicas na estrutura vegetativa de *bulbostylis paradoxa* associadas ao seu rápido florescimento no pós fogo. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ba1082b4-fad1-404f-b857-157a409aa2bb/content>
- Rosalem, P., Redondo, A, y Santos, L. (2022). How can the analysis of reserve dynamics after fire support the phenological insight of *Bulbostylis paradoxa* (Spreng.) Lindm (Cyperaceae)? Plant Physiology and Biochemistry, 182, 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.04.021>

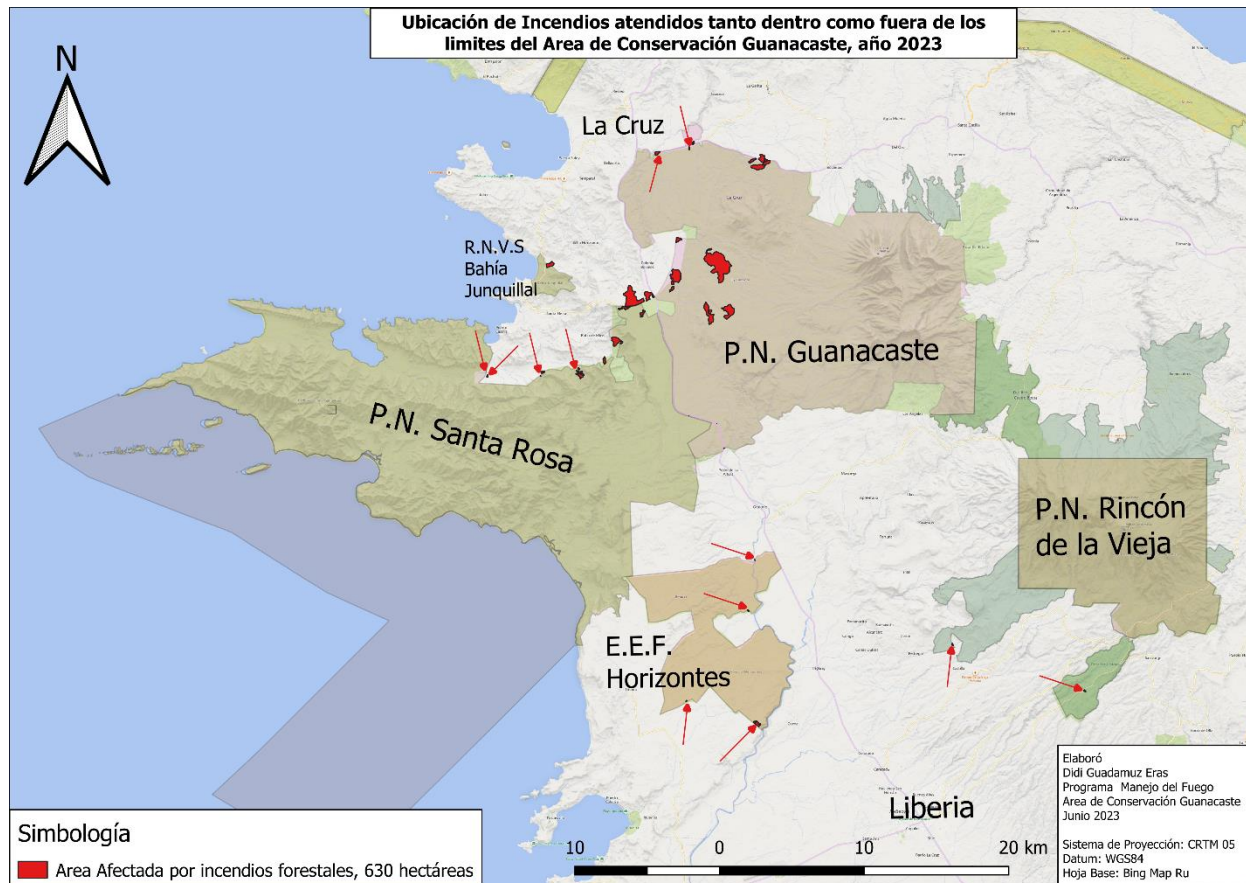
- Rossatto, D. R., Silva, L.C.R., Sternberg, L.S.L. y Franco, A. C. (2014). Do woody and herbaceous species compete for soil water across topographic gradients? Evidence for niche partitioning in a Neotropical savanna, 91, 14-18. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.11.011>
- Sáenz, I. y Zepeda, C. (2023). ¿El que pega primero pega dos veces? Una mirada a las plantas pioneras en los bosques tropicales. Desde El Herbario CICY, 15, 141–146. [2023-07-13-ISAenz-El-que-pegaprimeropega-dos-veces.pdf \(cicy.mx\)](https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.11.011)
- Sánchez, A y González, M. (2007). Técnicas de recolecta de plantas y herborización. En Contreras, A., Cuevas, C., Goyenechea, I, y Iturbe, U (Eds.), La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad. (1ªed., pp. 123-132). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Scott, A. C. (2000). The Pre-Quaternary history of fire. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 164(1-4), 281-329. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00192-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00192-9)
- Sevilla M, F. (2008). Una Teoría ecológica para los Montes Ibéricos. Instituto de Restauración y Medio Ambiente. http://ecoevo.uvigo.es/PDF/Sevilla-Ecologia/2008-Sevilla_Teor%C3%ADa%20ecol%C3%B3gica%20montes%20Ib%C3%A9ricos/Sevilla-Material%20adicional/2.1.5.%20Estratos.pdf
- Siebert, F. y Dreber, N. (2019). Forb ecology research in dry African savannas: Knowledge, gaps, and future perspectives. *Ecology and Evolution*, 9(13), 7875-7891. <https://doi.org/10.1002/ece3.5307>
- SINAC. (2017a). Proceso de Educación Ambiental Participativa del Área de Conservación Arenal Tempisque. CREA-ACAT. Guanacaste.
- SINAC. (2017b). Sistematización de Experiencia: Programa de educación Biológica. ACG. Guanacaste. 69 páginas.
- SINAC. (2013). Plan de Manejo Área de Conservación Guanacaste 2014-2024. ACG. Guanacaste. 149 páginas.
- SINAC. (2012). Programa de Manejo del Fuego. <https://www.acguanacaste.ac.cr/proteccion/programa-de-proteccion-e-incendios>

- Shen, Y., Cai, W., Prentice, I. y Harrison, S. (2023). Community Abundance of Resprouting in Woody Plants Reflects Fire Return Time, Intensity, and Type. *Forests*, 14(5), 878.
<https://doi.org/10.3390/f14050878>
- Stephan, K., Miller, M. y Dickinson, M.B. (2010). First-Order Fire Effects on Herbs and Shrubs: Present Knowledge and Process Modeling Needs. *Fire Ecology*, 6, 95-114.
<https://doi.org/10.4996/fireecology.0601095>
- Troiani, H. O., Prina, A.O., Muiño, W.A., Tamame, M.A. y Beinticinco, L. (2017). Botánica, morfología, taxonomía y fitogeografía. Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa.
<https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/110>
- Vargas, D. y Quesada, A. (2018). Influencia geomorfológica en la vulnerabilidad a incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 1-15.
<http://dx.doi.org/10.15359/rca.52-2.1>
- Vargas U, G. (2011a). Estudio cartográfico de los cambios de la vegetación de sabana en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica, 1985 – 2009. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47), 71-95. <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451745770003.pdf>
- Vargas, G. (2011b). Botánica General: Desde los musgos hasta los árboles. San José, C.R.: EUNED.
- Vargas P, M. G. y Sánchez S, M.N. (2019). Diversidad de plantas herbáceas y subarborescentes en cerro Chucantí, provincia de Darién. *Tecnociencia*, 21 (2), 69-91.
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/224/224979007/224979007.pdf>
- Wendell, G. y Mace, V. (2011). The Value of Pollinators and Pollinator Habitat to Rangelands: Connections Among Pollinators, Insects, Plant Communities, Fish, and Wildlife. *Rangelands*, 33 (3), 14-19. <https://doi.org/10.2111/1551-501X-33.3.14>
- Woodlock, B.A., Savage, J., Bullock, J.M., Nowakowski, M., Orr, R., Tallowin, J.R.B. y Pywell, R. F. (2014). Enhancing floral resources for pollinators in productive agricultural grasslands. *Biological Conservation*. 171, 44—51. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.01.023>
- Zhou, Y. (2023). Root traits in response to frequent fires: Implications for belowground carbon dynamics in fire-prone savannas. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1106531>

IX. Anexos

Anexo 1

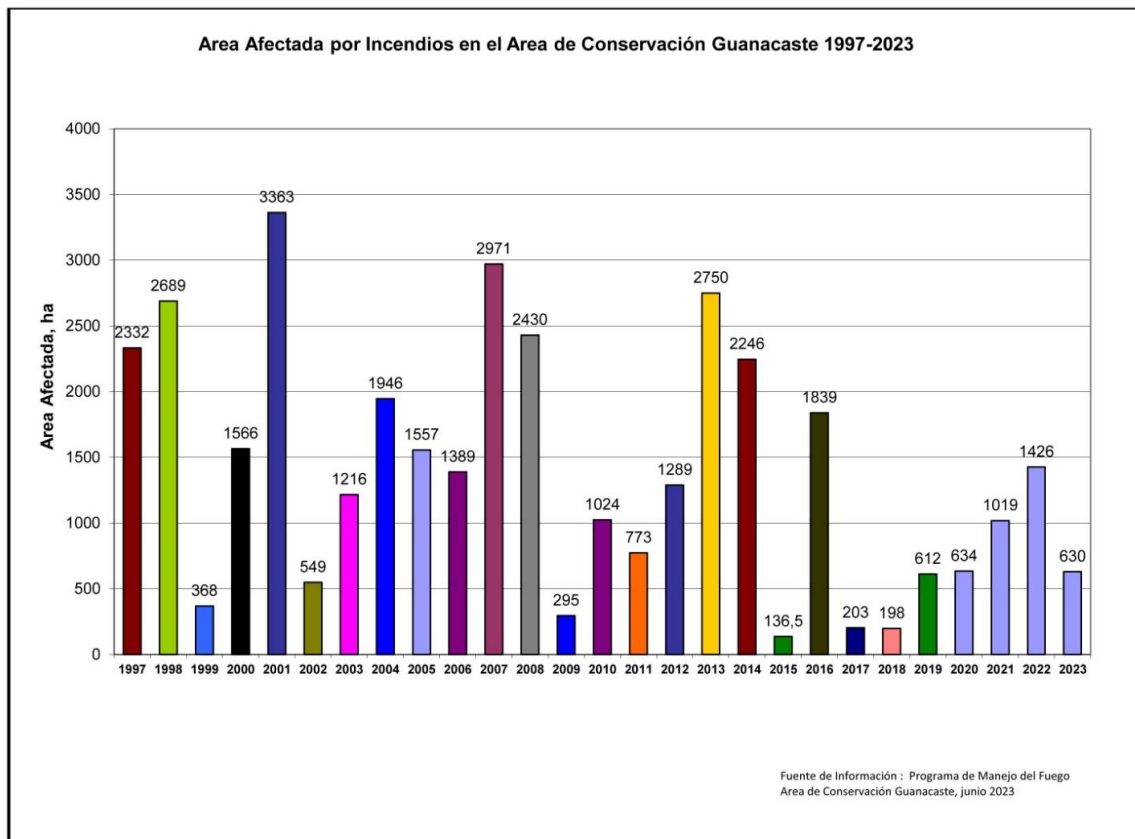
Ubicación de Incendios atendidos tanto dentro como fuera de los límites del Áreas de Conservación Guanacaste, año 2023.



Fuente: Didi Guadamuz Eras (Programa de Incendios ACG) en (Espinoza, 2023).

Anexo 2

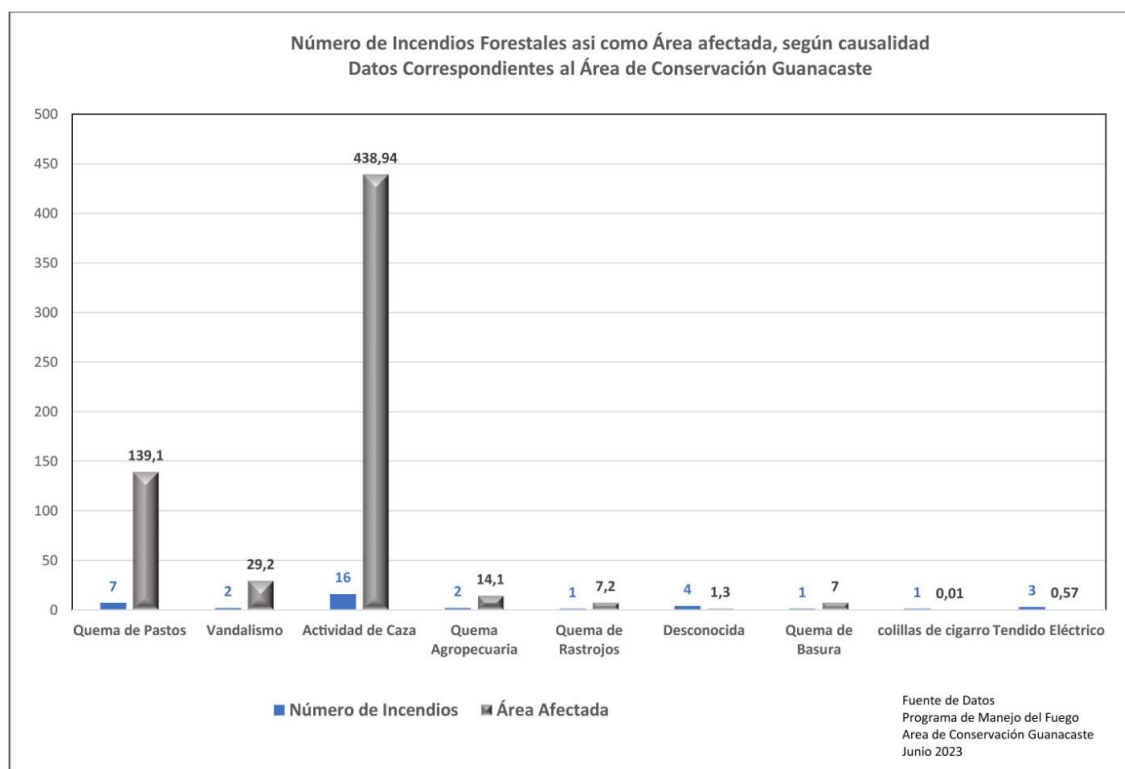
Área Afectada por incendios en el Área de Conservación Guanacaste 1997-2023



Fuente: Didi Guadamuz Eras (Programa de Incendios ACG) en (Espinoza, 2023).

Anexo 3

Número de incendios forestales, así como área afectada, según causalidad. Datos correspondientes al Área de Conservación Guanacaste



Fuente: Didi Guadamuz Eras (Programa de Incendios ACG) en (Espinoza, 2023).

Anexo 4

Hectáreas afectas por el incendio en el sitio de estudio en Laguna Guayabal el 19 de abril del 2024

The screenshot displays a web application interface for fire management. The main title is "Area de Conservación Guanacaste (ACG) Programa Manejo del Fuego (PMF) Registros de Incendios Forestales". The interface is divided into several sections:













- Datos Generales:** Incident # 35, Date: Viernes 19 Abril 2024, Season: 2023-2024. Location: Guanacaste, Sector: El Hacha, Site: Laguna Guayabal. Start time: 20:40, Liquidation time: 07:00 del 20 de abril. Attention time: 10.2, Total attention time: 218.15. Cause: Actividad de Caza, Fuel affected: Pasto Arbolado y Charral.
- Ubicación Geográfica:** Coordinates: 331770 (Horizontal), 1220813 (Vertical). Location: Bahía Salinas.
- Tiempo de Respuesta:**

Mes	Día	Hora	Minuto
abril	19	20	00
abril	19	20	40
abril	19	20	40
abril	20	07	00
- Técnica de Extinción:** Superficial, Control Directo (X), Control indirecto (X), Contrafuego (X). Nivel de Atención: 1, Aplica (SCI): si.
- Reporto el fuego:** Javier Obando. Recibido llamada: Marcos Bustos Salazar.
- Sumatoria total ha:** 877.67. Total fuera ACG: 83.71. D.C.GPS: 793.96.
- número consecutivo ACG:** 657.
- Personal que Atendió el Evento:** Junior Lopez Victor, Sergio Cascante Villagra, Juan Lopez Medrano, Neysi Medrano Ponce, Juan Jose Victor Villalobos (cinco funcionarios de ACTO). Temporales: Melissa Aviles Mendez, Osvaldo Siesar Espinosa, Dayana Lara Medrano, Gerardo Peña Chavarria.

Fuente: Didi Guadamuz Eras

Anexo 5

Especies de hierbas no gramínoideas encontradas en los sitios de estudio

		
<i>Ayapana amigdalina</i> Asteraceae	<i>Buchnera weberbaueri</i> Orobanchaceae	<i>Centrosema angustifolium</i> Fabaceae
		
<i>Chamaecrista flexuosa</i> Fabaceae	<i>Chamaecrista hispidula</i> Fabaceae	<i>Clitoria guianensis</i> Fabaceae
		
<i>Croton ovalifolius</i> Euphorbiaceae	<i>Curculigo scorzonerifolia</i> Hypoxidaceae	<i>Declieuxia fruticosa</i> Rubiaceae
		
<i>Diodia apiculata</i> Rubiaceae	<i>Eriosema crinitum</i> Fabaceae	<i>Helicotropis linearis</i> Fabaceae

Anexo 5 Continuación.

*Hexasepalum teres*

Rubiaceae

*Metastelma liesnerianum*

Apocynaceae

*Morfoespecie 1*

Rubiaceae

*Morfoespecie 2*

Asteraceae

*Morfoespecie 3*

Asteraceae

*Morfoespecie 4*

N/A

*Oxalis frutescens*

Oxalidaceae

*Sida ciliaris*

Malvaceae

*Spermacoce verticillata*

Rubiaceae

*Stylosanthes scabra*

Fabaceae

*Stylosanthes viscosa*

Fabaceae

*Turnera diffusa*

Turneraceae

Anexo 5 Continuación.



Zornia gemella

Fabaceae

Anexo 6

Fotografía de la hierba Ayapana amigdalina prensada y montada con el formato para un herbario



Anexo 7

Especies de gramíneas o hierbas gramínoideas encontradas en los sitios de estudio



Aristida sp
Poaceae



Leptocoryphium lanatum
Poaceae



Schizachyrium sanguineum
Poaceae



Thrasya robusta
Poaceae

Anexo 8

Especies de ciperáceas encontradas en los sitios de estudio



Fimbristylis complanata

Cyperaceae



Rhynchospora globosa

Cyperaceae



Bulbostylis paradoxa

Cyperaceae

Anexo 9

Registro del último incendio en el sitio de estudio en Laguna Guayabal antes de las quemas de las parcelas el 21 de marzo del 2024

FileMaker Pro - [Registro Incendios ACG]

File Edit View Insert Format Records Scripts Window Help

GPS 1

604

Records: 662

Unsorted

minae SINAC

Area de Conservación Guanacaste (ACG)
Programa Manejo del Fuego (PMF)
Registros de Incendios Forestales

Datos Generales

Incendio # **24** Día **Martes** 25 Mes **Abril** Año **2023** Temporada

Parque Nacional **Guanacaste** Sector **El Hacha**

Sitio **Laguna Guayabal**

hora de inicio del Control **14:20** h de liquidación **18:00**

Tiempo de Atención del Incendio **4.2** Total Tiempo de Atención del Incendio **5025.95**

Fecha res. **25/4/2023** Causa **Actividad de Caza** Combustible Afectado **Pastos y Charral**

Reporto el fuego **Patrulla Movil** Recibio llamada **Didi Guadamuz Eras**

Ubicación Geográfica
Coor. Horizontales **331393** Coor. Verticales **1221057**
Moja Cartográfica **Bahía Salinas**

Detección **Begada de Pros. Medios**
Inicio del Control **Incendio Extinguido**

Tiempo de Incendio **Superficial** Técnica de Extinción **Control Directo** Nivel de Atención **1** Aplica (SCI) **si** ha afec fuera ACG

Fecha de medición **34.2** Total ha. Afec según GPS **36,992.81** Sumatoria total ha **37749.83** Total fuera ACG **757.02**
ha. afec G.P.S. **34.2** número consecutivo ACG **604** ha. según cálculo **19622.6** D.C.GPS **17370.2**

Perimetro **3636** Total perimetro **658305.586**

Tipo de Trasporte Utilizado

Tipo de Trasporte Utilizado	Cantidad
Vehiculos	2
Vehiculo Extintor Todo Terreno	1
Vehiculo Extintor INS Bombero	1
Conjunto Pick-Up (VIR)	2
Tractor de Oruga	
Tractor de Llantas	
Lanchas	
Motocicletas	
Cuadriciclos	
Camiones	
Otros (Especifique)	
Aéreo	
Avioneta	
Helicoptero	
Otros (Especifique)	

Herramientas

Herramientas	Cantidad
Palas	
Azadón	
Rastrillo	
Machetes	15
Escobas de Millo	
Pulaski	
McLeod	
Quamador de Goteo	2
Batefuegos	
Bombas de Mochila	
Bombas de Espalda	
Equipo	
Motobombas	
Manguera	
Motosierra	
Sopladoras	6
Otros (Especifique)	
Radio Base	4
Radio Base	4
Radio Móviles	2

Fuente: Didi Guadamuz Eras