

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**PRINCIPALES LIMITANTES AL PROCESO DE
REGENERACIÓN NATURAL DE UNA COMUNIDAD
VEGETAL EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL FORESTAL
HORIZONTES, GUANACASTE, COSTA RICA.**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON
ÉNFASIS EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS
FORESTALES CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA.**

ÁNGELES NICOLE AGUILAR ROMÁN

CARTAGO, COSTA RICA

2023

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**PRINCIPALES LIMITANTES AL PROCESO DE
REGENERACIÓN NATURAL DE UNA COMUNIDAD
VEGETAL EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL FORESTAL
HORIZONTES, GUANACASTE, COSTA RICA.**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON
ÉNFASIS EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS
FORESTALES CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA.**

ÁNGELES NICOLE AGUILAR ROMÁN

CARTAGO, COSTA RICA

2023.

**PRINCIPALES LIMITANTES AL PROCESO DE REGENERACIÓN NATURAL DE
UNA COMUNIDAD VEGETAL EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL FORESTAL
HORIZONTES, GUANACASTE, COSTA RICA.**

Ángeles Nicole Aguilar Román*

RESUMEN

El bosque seco tropical corresponde a uno de los ecosistemas más amenazados. En Costa Rica, se encuentra distribuido principalmente en Guanacaste, en donde el Área de Conservación Guanacaste ha liderado los esfuerzos de restauración de estos ecosistemas. Sin embargo, en sitios de pastizales arbolados, como Las Mesas, no se ha desarrollado el proceso de regeneración natural esperado. El objetivo del presente trabajo fue determinar las limitantes al proceso de regeneración natural en el sitio Las Mesas a partir del conocimiento del historial del uso del suelo, el análisis de propiedades edáficas físicas y químicas y la evaluación de la conectividad del paisaje. El área de estudio se ubica en la Estación Experimental Forestal Horizontes, en el distrito Nacascolo, Liberia, Guanacaste. Para coleccionar los datos en campo se establecieron 18 parcelas de 20 x 20 m para la toma de datos de variables edáficas y el diagnóstico de la vegetación arborea presente en el sitio, tomando los datos de diámetro, altura total y diámetro de copa para los árboles con un diámetro a 1,30 m del suelo mayor o igual a los 10 cm. Para diagnosticar la existencia de especies herbáceas y arbustivas, se aplicó el método Braun Blanquet mediante 8 parcelas de 1 x 1 m para cada una de las 18 parcelas previamente mencionadas. De manera similar, se tomaron datos de las propiedades edáficas en tres sitios en diferentes estadios sucesionales, en dos parcelas permanentes de 60 x 60 m preexistentes por sitio. Para las variables edáficas en el proceso de regeneración natural, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con el fin de seleccionar la dimensionalidad del set de datos obtenido; posteriormente, se realizaron dos Análisis de Correspondencia Canónica que permitieran conocer la influencia de dichas variables con la ausencia y presencia de las especies

arbóreas y las especies herbáceas y arbustivas. El análisis de fragmentación se realizó con información de cobertura lo más actualizada posible y el software LecoS. Se sugiere que, la profundidad efectiva del suelo es la que más ha limitado el establecimiento de la vegetación (p- value= 0,040), aunado a las características intrínsecas a suelos vertisoles y el posible estrés biótico generado por las especies gramíneas presentes. Además, se obtuvo que el paisaje se encuentra fragmentado, teniendo un posible impacto en los procesos de sucesión natural, esto a partir de las métricas de paisaje en el que se encuentra el sitio de estudio.

Palabras clave: bosque seco tropical, restauración ecológica, regeneración natural, tipo de suelo, fragmentación, conectividad, paisaje.

ABSTRACT

The tropical dry forest is one of the most threatened ecosystems. In Costa Rica, it is distributed mainly in Guanacaste, where the Guanacaste Conservation Area has led efforts to restore these ecosystems. However, in wooded grassland sites, such as Las Mesas, the expected natural regeneration process has not developed. The objective of this study was to evaluate the limitations to the natural regeneration process at the Las Mesas site based on knowledge of the land use history, the analysis of physical and chemical edaphic properties, and the evaluation of landscape connectivity. The study area is located at the Horizontes Experimental Station, in the Nacascolo district, Liberia, Guanacaste. In the field, 18 plots of 20 x 20 m were established to collect data on edaphic variables and to diagnose the tree vegetation present on the site, taking data on diameter, total height, and crown diameter for trees with a diameter at 1.30 m from the ground greater than or equal to 10 cm. To diagnose the existence of herbaceous and shrub species, the Braun Blanquet method was applied using 8 plots of 1 x 1 m for each of the 18 plots previously mentioned. Similarly, data on edaphic properties were collected in three sites at different successional stages, in two 60 x 60 m preestablished permanent plots per site. For the edaphic variables in the process of natural regeneration, a Principal Component Analysis (PCA) was performed to select the dimensionality of the data set obtained; subsequently, two Canonical Correspondence Analyses were performed to determine the influence of these variables on the absence and presence of tree species and herbaceous and shrub species. The fragmentation analysis was carried out with the most updated landcover information possible and the software LecoS. Total depth was suggested as the main limiting factor for vegetation establishment (p-value= 0,043), together with the intrinsic characteristics of vertisol soils. In addition, it was obtained that the landscape is fragmented, having a possible impact on the natural succession processes, this based on the landscape metrics calculated.

Keywords: tropical dry forest, ecological restoration, natural regeneration, soil type, fragmentation, landscape, connectivity.

*Aguilar Román, N. 2023. Principales limitantes al proceso de regeneración natural de una comunidad vegetal en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico, Cartago, Costa Rica.



CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por Ph.D. Luis Guillermo Acosta Vargas, Ph.D. Nancy Gamboa Badilla; Ph.D. Edwin Esquivel Segura y Lic. David Reyes Cordero como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal con énfasis en Conservación y Restauración de ecosistemas forestales, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

LUIS GUILLERMO ACOSTA VARGAS (FIRMA)
Firmado digitalmente por LUIS GUILLERMO ACOSTA VARGAS (FIRMA)
Fecha: 2023.04.24 07:54:49 -06'00'

Luis Guillermo Acosta Vargas Ph.D.

Director del trabajo final de graduación

Nancy Gamboa Badilla Ph.D.

Profesora lectora

David Reyes Cordero Lic.

Lector, Estación Experimental Forestal Horizontes

Edwin Esquivel Segura Ph.D.

Profesor lector

TEC | Tecnológico de Costa Rica

Firmado digitalmente por DORIAN MAURICIO CARVAJAL VANEGAS (FIRMA)
Fecha: 2023.04.21 14:38:56 -06'00'

Dorian Carvajal Vanegas M.Sc.
Coordinador trabajo final de graduación



Ángeles Nicole Aguilar Román
Estudiante

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la gracia de su amor y la ternura de su misericordia.

A mi familia por el apoyo, el esfuerzo y por permitirme continuar mis estudios universitarios.

A don Félix Carmona, Francisco Carmona, Jimmy Canales y Pedro Araya, por toda su gentileza, paciencia y gran colaboración en el trabajo de campo; por compartir conmigo su experiencia y conocimiento. Sin ellos no hubiera sido posible.

A David Reyes, por permitirme realizar mi tesis en la Estación Experimental Forestal Horizontes; por su tiempo y consejo.

Al profesor Luis Acosta por su consejo y ayuda brindada durante la elaboración del presente trabajo.

A la profesora Nancy Gamboa y el profesor Edwin Esquivel, por su consejo, ayuda y gentileza durante la elaboración de este trabajo. Además, por las recomendaciones y observaciones realizadas como lectores.

A la profesora Lupita Vargas y Edgar Ortiz por su amabilidad y por siempre estar anuentes a colaborarme.

A Daniel Pérez, Nelson Zamora y Luis Acosta por la colaboración en la identificación taxonómica de arbustos y plantas gramíneas.

A la profesora Maribel Jiménez por compartirme su conocimiento y colaborarme con la interpretación de las entrevistas e identificación de plantas gramíneas.

A don Franklin Meléndez, por su carisma, y por hacer mi estadía en la Estación aún más cálida y amena.

A todas las personas que me han colaborado de una u otra forma en este trabajo y en la etapa universitaria. En general, gracias a todas las personas que he encontrado en este camino, que me ayudan a crecer y a continuar en este aprendizaje eterno que es la vida.

A la profesora Cassia Soto y el profesor Dagoberto Arias por creer en mí y brindarme oportunidades y apoyo en diferentes momentos durante la carrera.

A las y los diferentes funcionarios de la Escuela de Ingeniería Forestal por el trato y formación recibida.

A mis amigas, por su afecto, apoyo y por todas las vivencias compartidas. Gracias infinitas por creer en mí aun cuando yo no he podido hacerlo.

A amigas, amigos, compañeras y compañeros de la carrera, por las experiencias y afectos compartidos; por la enseñanza que cada uno ha dejado en mí. Me siento muy afortunada por haberles conocido.

A Margarito, mi gato, por compartirme su afecto, compañía, contención y darme tantas alegrías.

Al sistema de becas de la Educación Superior Pública, por permitirme estudiar y formarme como profesional durante estos años.

A todas las mujeres que a lo largo de la historia han luchado y entregado su sangre, vida y sueños para que hoy, tantas podamos gozar del ejercicio de nuestro derecho a la educación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT	iii
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS.....	10
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
4. METODOLOGÍA	25
4.1. Área de estudio	25
4.1.1. Clima.....	28
4.1.2. Suelos.....	28
4.1.3. Topografía.....	28
4.2. Historial de uso del suelo en el sector Las Mesas	29
4.2.1. Aplicación de entrevistas	29
4.2.2. Fotointerpretación de imágenes satelitales	29
4.3. Diagnóstico de la vegetación.....	30
4.3.1. Diversidad de la vegetación arborea y dinámica de sucesión.....	32
4.4. Muestreo de suelos para análisis químico y propiedades físicas.....	33
4.4.1. Análisis químico completo	33
4.4.2. Propiedades físicas.....	34
4.4.3. Análisis estadístico	35
4.5. Fragmentación del paisaje	36
4.5.1. Selección de sitios a conformar el paisaje en estudio.....	36
4.5.2. Capas geoespaciales.....	37
5. RESULTADOS.....	39
5.1. Determinación del historial de uso del suelo.....	39
5.2. Diagnóstico de la vegetación.....	46

5.2.1.	Diversidad de la vegetación arborea	46
5.2.2.	Hierbas, arbustos y lianas	53
5.3.	Variables edáficas.....	54
5.3.1.	Análisis químico del suelo.....	54
5.3.2.	Propiedades físicas.....	59
5.3.3.	Análisis estadístico	60
5.4.	Fragmentación del paisaje	69
5.5.	Propuesta de restauración ecológica.....	70
5.5.1.	Plantación de enriquecimiento mediante la técnica de nucleación.....	71
6.	DISCUSIÓN.....	75
6.1.	Historial de uso del suelo	75
6.2.	Diagnóstico de la vegetación.....	76
6.2.1.	Vegetación arbórea	76
6.2.2.	Hierbas, lianas y arbustos	81
6.3.	Variables edáficas.....	84
6.4.	Fragmentación del paisaje	90
6.5.	Propuesta de restauración ecológica.....	92
6.5.1.	Nucleación aplicada.....	93
7.	CONCLUSIONES	97
8.	RECOMENDACIONES	99
9.	Bibliografía.....	100
10.	ANEXOS.....	114

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características y ubicación de los cuatro sitios de estudio en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.	27
Cuadro 2. Escala de Braun Blanquet para la estimación de la cobertura vegetal herbácea.	33
Cuadro 3. Índice de diversidad de Shannon para el sector Las Mesas y sitios de bosque secundario en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	46
Cuadro 4. Coeficiente de Similitud de Jaccard para el sector Las Mesas en comparación con tres bosques en diferentes estadios de sucesión, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	47
Cuadro 5. Especies arbóreas presentes en Las Mesas y los sitios de bosque secundario, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	49
Cuadro 6. Índice de Valor de Importancia según área basal (m^2/ha), gremio ecológico y mecanismo de dispersión para distintas especies arbóreas en el sector Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	50
Cuadro 7. Índice de Valor de Importancia para bosques secos secundarios en diferentes estadios de sucesión natural, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	51
Cuadro 8. Suma de valores totales de cobertura de las 10 especies de hierbas, lianas y arbustos más abundantes del total presentes en el sector Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	54
Cuadro 9. Análisis químico completo para el sector Las Mesas y bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	55
Cuadro 9. Análisis químico completo para el sector Las Mesas y bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica (<i>Continuación</i>).	56
Cuadro 10. Relaciones catiónicas del suelo para el sector Las Mesas y tres bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	57
Cuadro 11. Relación carbono-nitrógeno para el sector Las Mesas y tres bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	58
Cuadro 11. Relación carbono-nitrógeno para el sector Las Mesas y tres bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica. (<i>Continuación</i>).....	59
Cuadro 12. Profundidad efectiva promedio del suelo en el sector Las mesas y tres bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	60
Cuadro 13. Componentes principales que explican los mayores porcentajes de varianza..	61
Cuadro 14. Prueba T-Student para dos medias independientes para las variables de resistencia mecánica y densidad aparente.	66

Cuadro 15. Métricas de paisaje correspondientes al área en estudio, Guanacaste, Costa Rica.....	69
Cuadro 16. Índices de riqueza y uniformidad del paisaje.	70
Cuadro 17. Actividades por desarrollar en el año 1, como parte del enriquecimiento de la comunidad arborea de Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	73
Cuadro 18. Actividades por desarrollar en el año 2, como parte del enriquecimiento de la comunidad arborea de Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	73
Cuadro 19. Actividades por desarrollar en el año 3, como parte del enriquecimiento de la comunidad arborea de Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Estación Experimental Forestal Horizontes, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.	26
Figura 2. Parcelas de 20 x 20 m establecidas en el sector Las Mesas, para el muestreo de la vegetación y toma de variables edáficas, Guanacaste, Costa Rica.	31
Figura 3. Cobertura actual del paisaje en estudio, Guanacaste, Costa Rica.	38
Figura 5. Uso del suelo del sector Las Mesas para el año 1969, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	41
Figura 6. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 1974, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	42
Figura 7. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 1989, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	43
Figura 8. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 2005, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	44
Se muestra un cambio importante en cuanto a lo observado entre el 2012 (Figura 9) y el 2022 (Figura 10), pues, en un período de 10 años se muestra un aumento en la cobertura de las ya anteriormente denominadas islas de regeneración, sin embargo, se muestra como el extremo suroeste y noreste del sitio siguen presentando menor cobertura en relación con la zona más central del sitio.	44
Figura 9. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 2012, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	45
Figura 10. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 2022, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	45
Figura 11. Índice de Jaccard para el sector Las Mesas en comparación con tres bosques en diferentes estadios de sucesión, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	48
Figura 12. Distribución diamétrica del número de individuos para cada especie presente en el sector Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.	52
Por otro lado, la Figura 13 evidencia que en Las Mesas existe un mayor número de especies heliófitas efímeras agrupadas en las primeras clases diamétricas. Cabe señalar también que la única especie esciófita presente se encuentra en las primeras clases diamétricas y no en las últimas como debiera de esperarse según a la sucesión secundaria de los bosques tropicales.	52
Figura 14. Influencia de las variables en estudio sobre el Componente Principal 01.	62

Figura 15. Influencia de las variables en estudio sobre el Componente Principal 02.	63
Figura 16. Biplot del análisis de componentes principales para las variables físicas y químicas y su relación con dos grupos de sitios correspondientes a pastizal y bosque en una escala de valores propios*.....	64
Figura 17. Biplot del análisis de componentes principales para las variables físicas y químicas del suelo, Guanacaste, Costa Rica.....	65
Figura 18. Análisis de correspondencia canónica de las variables edáficas y la vegetación arbórea pastizal arbolado (LM) y tres sitios de Bs-T en diferentes estadios sucesionales, Guanacaste, Costa Rica.	67
Figura 19. Análisis de correspondencia canónica de las variables edáficas y hierbas, arbustos y lianas presentes en el sector Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	68
Figura 20. Islas de vegetación arborea existentes en el sitio Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	71
Figura 21. Diseño de plantación bajo árboles nodrizas en islas de vegetación preexistentes en el sitio Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.....	72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Entrevistas aplicadas con la finalidad de conocer el historial de uso del sitio Las Mesas.....	114
Anexo 2. Tipología de las imágenes satelitales adquiridas para la fotointerpretación y caracterización de los cambios históricos en el uso del suelo del sitio Las Mesas.	122
Anexo 3. Triángulo Textural (USDA, 1977).....	123
Anexo 4. Valores obtenidos para las variables de pendiente, resistencia mecánica y profundidad efectiva para el sitio Las Mesas y los sitios en comparación (BS, LAG y SAR).	124
Anexo 5. Valores obtenidos para las variables de pendiente, resistencia mecánica y profundidad efectiva para el sitio Las Mesas y los sitios en comparación (BS, LAG y SAR). (Continuación).....	125
Anexo 6. Valores obtenidos para la variable densidad aparente para el sitio Las Mesas y los sitios en comparación (BS, LAG y SAR).....	126
Anexo 7. Coordenadas en el Sistema de Proyección CRTM05 para cada una de las parcelas establecidas en el sitio LM así como para las parcelas permanentes preexistentes en BS, LAG y SAR.	127
Anexo 8. Resultados obtenidos del Análisis Químico Completo de suelos.....	128
Anexo 9. Abreviaciones empleadas en el CCA para las especies arbóreas.	133
Anexo 7. Abreviaciones empleadas en el CCA para las especies arbóreas (Continuación).	133
Anexo 10. Abreviaciones empleadas en el CCA para las especies gramíneas, arbustos y lianas.....	135

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica la deforestación alcanza un total de 17 312 ha anuales, siendo los bosques secundarios en áreas de propiedad privada principalmente, los más vulnerables (REDD Costa Rica, 2015). Esta deforestación, es motivada principalmente por la conversión de los bosques para el desarrollo de agricultura y ganadería (MINAE, 2018) y ha derivado en la degradación forestal de alrededor de 15 023 hectáreas para el período 2005-2015 (González, 2017). La degradación forestal se define como un estado de sucesión detenida (Ghazoul et al., 2015). Como parte de este estado, se ven disminuidos o severamente afectados los procesos ecosistémicos que sustentan la dinámica forestal y que determinan la capacidad y las trayectorias de recuperación tras la ocurrencia de perturbaciones (Mori, 2011; Christensen, 2014). Lo anterior, provoca un impacto importante en la conservación de la biodiversidad, el clima y la provisión de servicios ecosistémicos (Foley et al., 2007, Thrush et al., 2009).

A pesar de su importancia en diferentes partes del mundo, dado a los servicios ecosistémicos y los bienes que brindan (Naime et al., 2020; George et al., 2019), el bosque seco tropical se considera como el bioma tropical más amenazado y corresponde a uno de los ecosistemas más vulnerables frente a la degradación (Janzen, 1988). Las tasas de desaparición de este tipo de bosques, como consecuencia del cambio climático y el cambio de uso del suelo, son alarmantes. Se estima que, del área total original ocupada por estos, solamente queda un 10% distribuido en algunos países del trópico (Siyum, 2020). En Centroamérica, Costa Rica comprende el mayor parche de bosque seco, situado específicamente en el Área de Conservación Guanacaste (ACG) (SINAC, 2014). La existencia exclusiva de estos parches remanentes hace necesario comprender la velocidad a la cual se recupera su composición y estructura, así como las variables que controlan dichos procesos, para llevar a cabo adecuadas prácticas de manejo y el desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza con potencial para detener y revertir la degradación de los ecosistemas, como es la restauración ecológica (Powers, 2009; Derroire, 2016; UICN, 2022).

El término de restauración ecológica surgió en la década de 1930, catalogada como una ciencia que permitía trabajar la tierra y reconstruir aquellos ecosistemas que se tenían en el pasado, a partir de ensayos experimentales (Higgs et al., 2018). Posteriormente, el concepto se direccionó cada vez más. hacia el componente histórico del sitio, buscando reconstruir ecosistemas con las mismas características y funcionalidad de aquellos que existían originalmente (Urbanska, Webb & Edwards, 1997). No obstante, debido a que en la actualidad no siempre es posible obtener información y completar la línea histórica de uso del suelo en el sitio previo a la degradación (Martin, 2017), se ha definido a la restauración ecológica como el proceso en el cual se asiste para alcanzar la recuperación y el manejo de la integridad ecológica de un recurso que ha sido dañado, degradado o destruido; desde una perspectiva que contempla la recuperación de la dinámica natural del ecosistema, su integridad y sustentabilidad (SER, 2004).

La restauración ecológica precisa la ejecución de actividades a diferentes escalas espaciales (UICN, 2022). El proceso comienza con una evaluación del lugar degradado, pues es fundamental el análisis a fondo de las condiciones actuales del sitio, para determinar la necesidad de restauración y las posibles acciones necesarias para llevarla a cabo (Jørgensen, 2015). Del mismo modo, se debe comprender el patrón de perturbaciones ecológicas del ecosistema, los factores del entorno abiótico y las interacciones bióticas que operan simultáneamente, limitan la presencia de especies a nivel local y juegan un rol fundamental en la restauración ecológica, principalmente a escala de comunidad (HilleRisLambers et al., 2012). En la actualidad, el éxito de los procesos de restauración corresponde a la definición de objetivos realistas y alcanzables, que se adapten a las condiciones ecológicas, sociales y económicas (Malby et al., 2019), que permitan afrontar los retos actuales de la restauración ecológica (Yang et al., 2022).

Uno de los principales retos para el éxito de la restauración ecológica corresponde al legado del uso del suelo (Perring et al., 2015) que se refiere a la persistencia de propiedades alteradas de los ecosistemas, aún, cuando se ha dado el cese del uso de la tierra que generaba su degradación, como la agricultura y el pastoreo (Dupouey et al., 2002; Plue et

al., 2008). El legado de uso del suelo, puede afectar el éxito de los proyectos de restauración mediante la dificultad de establecimiento de plantas en suelos modificados anteriormente para el desarrollo de la agricultura (Perring et al., 2015; Bellemare et al., 2002) o bien a través del lento restablecimiento de la vegetación (Moreno et al., 2019, Kuussaari et al., 2009), además de incidir en la diversidad y riqueza de especies (Hermy & Verheyen, 2007; Gamboa et al., 2020; Abadie et al., 2021) y en características del suelo (Abadie et al., 2018). Dado a lo anterior, comprender el legado e historial del uso de la tierra es importante para los bosques secos con una larga historia de perturbaciones y para predecir su respuesta a futuros cambios medioambientales (Cotler & Ortega, 2006; Romero et al., 2007; Pérez et al., 2021) así como para determinar la necesidad de esfuerzos de restauración adicionales (Brudvig et al., 2021).

En la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH) se ha realizado investigación y esfuerzos de restauración pasiva en algunos de los últimos remanentes de bosque seco tropical en el ACG. No obstante, se presume que, dado a las condiciones edáficas propias del sitio y el uso de suelo anterior, el sector denominado “Las Mesas” no ha logrado seguir el proceso de regeneración natural esperado; además, no se han determinado con certeza las variables que lo han limitado. Consecuentemente, se desconocen las acciones que pueden llevarse a cabo para superar dichas limitantes y realizar la restauración de su comunidad vegetal. Por tanto, considerando la situación actual del bosque seco tropical, principalmente en el contexto de América Central, donde la mayor parte de los últimos remanentes se encuentran en el ACG y la importancia ecológica de estos ecosistemas, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las posibles limitantes al proceso de regeneración natural de la comunidad vegetal del sector Las Mesas en la Estación Experimental Forestal Horizontes.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar las posibles limitantes al proceso de regeneración natural de la comunidad vegetal del sector Las Mesas en la Estación Experimental Forestal Horizontes.

Objetivos específicos

- Caracterizar el uso histórico del suelo en el período 1960-2022 en el sitio Las Masas.
- Generar un diagnóstico de la vegetación existente y su diversidad en el sector Las Mesas.
- Analizar las variables edáficas y del paisaje que podrían limitar el proceso de regeneración natural en el sector Las Masas.
- Plantear una propuesta de restauración para el sitio Las Mesas según sus características y limitantes identificadas.

Hipótesis de investigación

Se espera que existan factores edáficos y de paisaje que impiden el proceso de regeneración natural en el sector Las Mesas.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

Ecología de bosques secos tropicales

Bosque seco tropical

El bosque seco tropical corresponde a los bosques que ocurren en regiones tropicales en donde existe una estacionalidad en la distribución de la precipitación con un mínimo de cinco a seis meses de sequía (Mooney et al., 2005), y condiciones de precipitación anual que va de los 700 mm a los - 2000 mm, y una temperatura media anual mayor a los 25°C. Estos ecosistemas se encuentran compuestos por un tipo de vegetación que puede llevar a cabo funciones y procesos marcados por dicha estacionalidad, estando el 50% de esta, compuesta por árboles caducifolios (Janzen, 1988; Azofeifa et al., 2005; Cárdenas, 2013; Stan & Azofeifa, 2019).

Este tipo de ecosistema cubre aproximadamente el 42% de la región tropical en su totalidad (Miles et al., 2006), localizados principalmente en África, Centroamérica y Suramérica, Asia Central y Australia (Buzzard et al., 2016). En la actualidad, del 50% al 75% de los bosques remanentes se encuentran en América del Sur y América Central, con una extensión total de 519 597 km² (Portillo Quintero & Sánchez Azofeifa, 2010), los cuáles contienen una gran biodiversidad de plantas compuesta por árboles, lianas, arbustos, hierbas, gramíneas y bromelias (Kennard, 2002, Banda, 2016).

Dado a la afectación que históricamente ha sufrido el bosque seco tropical en Mesoamérica, es fundamental conocer los procesos de regeneración natural y dinámica de la sucesión con el fin de obtener esfuerzos de restauración exitosos (Derroire et al., 2016).

Sucesión secundaria y regeneración natural

En general, la sucesión natural de los bosques secos tropicales se ve afectada por la ocurrencia de incendios y la sequía estacional (Ewel et al., 1980). Estos eventos, aunado al

historial de uso anterior del suelo, la influencia de la vegetación remanente y las condiciones edáficas dan lugar a múltiples trayectorias sucesionales, específicas para cada sitio (Ewel et al., 1980; Mesquita et al., 2001; Chazdon et al., 2003). Estrada (2019) concluye también, que los factores edáficos y las condiciones iniciales son determinantes importantes de la sucesión. Además, es importante señalar que, sitios de pastura pueden regenerarse en bosques secos tropicales siempre y cuando ocurra un control efectivo de la ocurrencia de incendios, factor que, de mantenerse, filtraría la vegetación del sitio derivando en sabanas y no en bosques (Pennington et al., 2006; Pennington et al., 2009; Hoffmann et al., 2012; Hughes et al., 2013; Veenendaal et al., 2015)

Inicialmente, luego de disturbios como incendios, es posible encontrar que exista un mayor número de brotes ya establecidos que plántulas (Kennard et al., 2002) Ewel (1977), Murphy & Lugo (1986) y McDonald et al., 2010 consideran que, el rebrote a partir de raíces o tocones es el primer mecanismo de regeneración en bosques secos perturbados; lo cual fue descrito también por Vieira et al. (2006) en bosques deforestados para el pastoreo de ganado en Brasil. Por otro lado, Janzen (1988) señala que, los pastizales de bosque seco siguen dos patrones diferentes al mismo tiempo, siendo que, uno es controlado por semillas de árboles dispersadas por el viento y otro por semillas defecadas por animales. A raíz de lo anterior, la tasa de regeneración y crecimiento son lentas, con plantas cuya reproducción es altamente estacional y dependientes de la polinización animal (Bullock, 1995; Jaimes & Ramírez, 1999; Quesada et al., 2001, Fuchs et al., 2003; Quesada et al., 2004).

Además, en los bosques secos tropicales el principal mecanismo de dispersión durante las primeras etapas de sucesión corresponde al viento, siendo la mayor parte de especies que se establecen en un sitio especies anemócoras. Este mecanismo de dispersión juega un rol fundamental en el proceso de sucesión, pues, son semillas que pueden recorrer grandes distancias entre fragmentos de bosque (Cubiña & Aide, 2001; Janzen, 2002; Castillo et al., 2011), con mayor tolerancia a la desecación y, por tanto, presentan una mayor sobrevivencia en áreas abiertas (Khurana & Singh 2001; McLaren & McDonald, 2003). Conforme la sucesión avanza, se da el arribo de especies dispersadas por animales

(zoocoria), como parte de la cual, mamíferos y principalmente aves, juegan un rol vital (Ceccon, 2009; Hilje et al., 2015; Galindo Rodríguez & Roa Fuentes, 2017).

La germinación y el establecimiento de las plantas se ve favorecida en áreas de sombra, en donde los suelos son más húmedos durante la época seca, en comparación con las áreas abiertas, mientras que el crecimiento se ve favorecido en sitios abiertos (Vieira et al., 2006)

Estructura y diversidad

Varios estudios realizados bajo un enfoque de cronosecuencia, señalan que en las comunidades de plantas de Bs-T, se observa un aumento progresivo de la riqueza y diversidad de la vegetación arborea, siendo lo contrario para arbustos, hierbas y lianas (Roth, 1999; Kennard, 2002; González et al., 2002; de Souza & Batista, 2004; Kinhal & Parthasarathy, 2008; Lebrija et al., 2008, Madeira et al., 2009). De manera similar, se observa un aumento en cuanto corresponde a la estructura con el paso de los años; sin embargo, algunos atributos difieren en cuanto a sus tasas de recuperación (Kennard et al., 2002; de Souza & Batista, 2004; Ruiz et al., 2005). Por ejemplo, al paso de 8 años de sucesión, se ha alcanzado una cobertura de copas del 75%, mientras que, debieron pasar 23 años para que el área basal alcanzara valores similares a las de un bosque seco maduro (Kennard et al., 2002). No obstante, es importante señalar que la recuperación de estos atributos se encuentra en función de las características edáficas (Powers et al., 2009), la distancia a fragmentos de bosque maduro (Gomes Reis Lopes et al., 2012) y la intensidad del disturbio causado por el uso anterior del suelo (Molina & Lugo, 2006; Romero-Duque et al., 2007).

Estadios sucesionales

Estudios realizados en pastizales abandonados, tomando en cuenta el período de sucesión natural después del abandono, sugieren que la dinámica de sucesión natural del bosque seco, dado el uso del suelo como pastizales y las condiciones ambientales, suele ocurrir en un proceso de recuperación más lento que el que ocurre en los bosques húmedos tropicales (Almazán et al., 2012). Este proceso de sucesión comprende las siguientes etapas descritas por Spittler (2001):

- Pastizal arbustivo (1^{ra} fase sucesional)

Durante los primeros tres o cuatro años posteriores al abandono, hay presencia de especies arbustivas y especies arbóreas pioneras. Estas se establecen cerca de los árboles y demás vegetación remanente, dando lugar a “islas de regeneración”. Paulatinamente, estas islas se van expandiendo gracias a la llegada de especies dispersadas por viento y la función de percha, que ofrecen los árboles remanentes y que facilita la dispersión y arribo de especies zoócoras al sitio. En la zona de Guanacaste, al igual que en otros sitios del trópico, esta formación de islas ocurre en medio de pastizales, correspondientes, principalmente a la especie introducida *Hyparrhenia rufa* (Nees), que, durante esta primera fase corresponde al componente principal.

Arbustal (2^{da} fase sucesional)

Durante esta fase se presenta un aumento en los sitios de sombra disponibles, así como de la humedad relativa y un deceso de la temperatura, dado al cierre del estrato arbustivo y a la dominancia de especies pioneras. A razón de ello, se espera que, en esta fase, empiece a ocurrir el desplazamiento paulatino de los pastos y aumente la expansión (más homogénea y densa) de las islas de regeneración, con un dosel de aproximadamente 5 m de altura, compuesto por especies heliófitas efímeras y durables.

Bosque secundario temprano (3^{ra} fase sucesional)

Toma lugar después de 10 ó 15 años de haber iniciado el proceso de sucesión. Se caracteriza principalmente por la existencia de una cobertura forestal cerrada y el completo desplazamiento de los pastos. Se diferencia la existencia de dos principales estratos, correspondientes al sotobosque y al arbóreo (dosel). El dosel, se encuentra dominado principalmente por especies pioneras; mientras que el sotobosque se compone principalmente por heliófitas durables, especies arbustivas y algunas especies esciófitas

recién establecidas y se espera que la diversidad de especies aumente rápidamente.

Bosque secundario intermedio (4^a fase sucesional)

Esta fase se caracteriza por la reducción en la presencia de especies pioneras, dado el crecimiento de especies heliófitas durables y esciófitas, ocurriendo así la formación de dos estratos arbóreos, con un dosel superior a los 15 metros de altura.

Bosque secundario tardío (5^a fase sucesional)

Esta fase toma lugar a los 30 o 35 años posteriores al abandono y se caracteriza por la casi total ausencia de especies heliófitas efímeras (pioneras) y la dominancia de especies heliófitas durables, permanece la presencia de esciófitas y el dosel llega alcanzar los 25 m de altura.

Amenazas al bosque seco tropical

Históricamente y a nivel global, los bosques secos tropicales dado a sus condiciones edáficas y climáticas han sido sitios óptimos para el establecimiento y desarrollo de asentamientos humanos lo cual a su vez, ha provocado disturbios antropogénicos intensos (Murphy & Lugo, 1986; Hoekstra, 2005; Sánchez, 2005; Portillo et al., 2014) derivando, por ejemplo, en altas tasas de deforestación y la degradación de estos bosques (FAO, 2001), siendo convertidos, en su mayoría, tierras para pastoreo y uso agrícola (Godoy et al., 1993; Ewel, 1999; Pennington et al., 2006). En la actualidad, las principales amenazas a los bosques secos tropicales corresponden al cambio climático y a la deforestación, derivada del cambio de uso del suelo (Gillespie, 2012; Blackie et al., 2014; Siyum, 2020). A raíz de ello, se estima que un 48- 66% de la cobertura de bosque seco tropical original en el neotrópico ha desaparecido (Hoekstra et al., 2005; Calvo, 2013). Por su parte el cambio de uso del suelo, trae consigo efectos importantes como pérdida de biodiversidad, disminución de la fertilidad del suelo (Saynes et al., 2005; Campo & Merino, 2016), alteración de la ecología e hidrología del sitio (Dupuy et al., 2012; Maass et al., 2018; Andrade et al., 2020). De manera similar, la deforestación y la degradación afectan las reservas de carbono y la provisión de servicios ecosistémicos (Barlow et al., 2016).

En cuanto al cambio climático, sus efectos se ven evidencias por la ocurrencia de incendios, la alteración en los regímenes de precipitación y las sequías prolongadas (Colorado Ruíz et al., 2018). Estos eventos han provocados pérdidas en la diversidad y modificaciones en la estructura de estos bosques (Clark & Covey, 2012; Caviedes & Ibarra, 2017). Además, según las proyecciones en el caso de Centroamérica se esperan sequías prolongadas y mayor incremento en la ocurrencia de incendios (Colorado Ruiz et al., 2018) lo cual trae consigo, por ejemplo, reducción de la humedad de suelo y mayor mortalidad de plántulas; e incide directamente en la capacidad de resiliencia de estos ecosistemas posterior a la ocurrencia de disturbios (Singh & Kuswaha, 2005; Lopezaiza et al., 2013). Este fenómeno afecta los ciclos fenológicos y produce mínimos estacionales en las tasas fotosintéticas (Castro et al., 2018), afecta la dinámica forestal (Allen et al., 2017) incidiendo en el crecimiento y mortalidad del componente arbóreo y altera la composición y riqueza de especies (Powers, 2018). Aunado a esto, el incremento en la ocurrencia de incendios puede provocar que los sitios de bosque seco tropical pasen a ser sabanas dado a modificaciones importantes en las características de la vegetación y condiciones ambientales del sitio, las cuales, pueden verse alteradas también por el cambio climático (Lehmann et al., 2011; Dexter et al., 2005). Sin embargo, existen estudios que muestran que el cambio climático afecta de forma específica a los bosques secos de acuerdo con las condiciones edáficas, topográficas, la biogeografía y la ocurrencia de eventos como incendios (Imbert & Portecop, 2008; Mendivelso et al., 2013; Maza et al., 2013; Allen et al., 2017).

Ecología del paisaje en bosques secos tropicales

La ecología del paisaje es una disciplina emergente cuyo objetivo es comprender los procesos y patrones medioambientales que influyen en los hábitats y las especies más allá de la escala de sitio (Clark, 2010), bajo el principio de que el paisaje se constituye de un conjunto de parches de diferentes hábitats cuya disposición en el espacio afecta los procesos ecológicos (Newman et al., 2019).

La ecología del paisaje en conjunto con la comprensión de los patrones sucesionales, el historial de uso del suelo y la fragmentación del paisaje, permiten identificar las fuerzas que direccionan el proceso de sucesión natural y orientar de manera adecuada los esfuerzos de restauración ecológica (Arroyo et al., 2015). Lo anterior resulta fundamental, considerando que los bosques secundarios y sitios en estadios de sucesión, funcionan como hábitats suplementarios para especies que dependen de los bosques y de aquellas adaptadas a disturbios. Estos, constituyen también, elementos estructurales del paisaje al actuar como corredores mejorando la conectividad del paisaje y la permeabilidad de la matriz (Ewers & Dirham, 2006; Lidenmayer et al., 2008; Tschardtke et al., 2012).

En paisajes altamente perturbados intensa y extensamente, la sucesión puede ser lenta o detenerse por completo, derivando en un empobrecimiento de las comunidades biológicas y la reducción del potencial para ofrecer servicios ecosistémicos (Arroyo et al., 2015). Por otro lado, el éxito de los proyectos de restauración, en términos generales puede verse limitado por las dinámicas ecológicas que en este ocurren en el paisaje y el contexto específico de este, señalando de forma puntual la insolación, área cubierta por el hábitat y la conectividad (Murphy & LugoNaveh, 1994; Holl & Aide, 2011; de Souza, 2013; Mansourian, 2021).

Conectividad y fragmentación del paisaje

La conectividad del paisaje se define como el grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento entre parches de recursos (Taylor et al., 1993; With et al., 1997). Se deriva de la interacción entre la estructura física del paisaje y el movimiento, por lo cual, debe evaluarse desde una perspectiva dinámica, más allá que sólo a partir de la distribución espacial de los parches (Taylor et al., 2006). Por tanto, es posible definir dos tipos de conectividad de paisaje; siendo, la conectividad estructural aquella relacionada directamente con la relación física entre parches de hábitat, mientras que la funcional, considera la respuesta de los organismos y comunidades a los cambios en la estructura del paisaje (Baguette et al., 2013). En términos generales, con fines de conservación y restauración ecológica considerar e incrementar la conectividad del paisaje y contrarrestar

los efectos negativos de la fragmentación del paisaje (Kindlmann & Burel, 2008; Mony et al., 2022).

Fragmentación del paisaje

En la actualidad, la fragmentación del paisaje, así como la pérdida de hábitat constituyen las principales amenazas para la biodiversidad terrestre (Rogan & Lacher, 2018). La fragmentación ocurre cuando un área grande de bosque es reducida a parches más pequeños y menos conectados (Brown, 2004), rodeados por una matriz de cobertura y uso del suelo transformada por el ser humano (Lindenmayer & Fisher, 2006).

Las consecuencias de la fragmentación se explican mediante tres mecanismos principales. El primero de ellos corresponde a los efectos atribuibles directamente a la pérdida del hábitat. En segundo lugar, aquellos que se deben a los cambios en la configuración espacial del paisaje, como lo es el aislamiento, por ejemplo. Y finalmente, aquellos originados de forma indirecta de los dos mecanismos ya mencionados y de la interacción de los fragmentos con la matriz circundante (Dihman et al., 2012).

Dado a que la fragmentación se relaciona de forma intrínseca con la cantidad y configuración del hábitat, genera efectos a nivel de poblaciones, comunidades y ecosistemas (Haddad et al., 2015). En el caso de los bosques tropicales, numerosos estudios han mostrado el efecto de la fragmentación principalmente en la disminución de la biodiversidad, el aumento de especies invasoras, incremento en la erosión del suelo, alteración en el ciclo de carbono y modificación del éxito reproductivo y estructura genética de las especies (Taubert et al., 2018; Brink et al., 2017; Cushman et al., 2012; Long et al., 2010; Cascante et al., 2002; Ritters et al., 2000).

En términos generales, la fragmentación provoca una alteración en la configuración espacial y en la conectividad estructural del paisaje, lo cual deriva en importantes efectos sobre la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos (Bogaert et al., 2011). Genera la alteración de los mecanismos de reproducción, polinización y dispersión de especies vegetales (Rodríguez & Leitón, 2021), procesos ecológicos vitales para el

reclutamiento de las especies y que mantiene la dinámica natural del ecosistema. Además, produce cambios en condiciones de micrositio, ya sea a nivel de microclima o en el ciclado de nutrientes del suelo en sitios recientemente fragmentados (Ibañez et al., 2014).

Los procesos de fragmentación, dado a la complejidad de los hábitats específicos que afectan, generan diferentes respuestas positivas o negativas y sus consecuencias no pueden generalizarse (Rogan & Lacher, 2018). Sin embargo, Ibañez et al. (2014), señalan que a nivel general los efectos negativos del aislamiento, el tamaño de parche y la longitud de borde producto de la fragmentación de los bosques tropicales, tienen impactos negativos en las comunidades vegetales. En los paisajes fragmentados, el tamaño de los parches (fragmentos) determina la extensión y abundancia de las poblaciones de plantas y presenta una correlación positiva con la diversidad de plantas. Por otro lado, el aislamiento altera el intercambio genético en las comunidades, mediante la modificación del flujo de polen y la dispersión de semillas, lo cual resulta perjudicial para especies auto incompatibles y zoócoras. Esto por la dificultad que implica el movimiento entre los parches, mientras que las especies polinizadas y dispersadas por el viento se ven menos afectadas, pues el polen y las semillas pueden viajar grandes distancias entre fragmentos (Castillo et al., 2011).

Frente a los múltiples efectos que pueden derivarse a raíz de la fragmentación, la restauración ecológica corresponde a una herramienta que permite contrarrestarlos y mejorar las condiciones ecológicas del ambiente regional y de paisajes fragmentados (Feng et al., 2016). Sin embargo, para ello, es necesario que los proyectos de restauración se aborden entre el ecosistema y el entorno circundante para lograr una verdadera rehabilitación y reconstrucción (Hobbs, 2014).

Fragmentación y el bosque seco tropical

Se estima que alrededor del 15% del total del bosque seco tropical presente en América Latina, ocurre entre México y América Central (Miles et al., 2006). Históricamente, la

conversión de los bosques secos tropicales a sitios para el desarrollo de la agricultura y pastoreo han provocado la reducción de las grandes extensiones de este ecosistema. En la actualidad, al haberse abandonado parte del desarrollo de esas prácticas, se ha generado un mosaico de fragmentos de bosque seco tropical en diferentes estadios de sucesión, con pequeños parches de bosque seco tropical maduro, inmersos en una matriz, compuesta principalmente por extensas áreas de cultivo y repastos para el desarrollo de la ganadería (Janzen, 1989; Kramer, 1997; Leiva et al., 2009).

Restauración ecológica

El objetivo de la restauración ecológica es el inicio o aceleración del proceso de recuperación de un ecosistema posterior a la ocurrencia de un disturbio (Vaughn et al., 2010) y se ha convertido en una de las principales herramientas para revertir la degradación y detener la pérdida de la biodiversidad (Benaya et al., 2009). Se espera que el proceso de restauración conduzca al desarrollo de interacciones complejas y autosostenibles entre la biota, las características biofísicas y los procesos que componen un ecosistema (Falk et al., 2007; Suding, 2011). Esta práctica, busca el aumento de la integridad ecológica (Clewell et al., 2004; Keenleyside et al., 2012) y es sostenible a lo largo del tiempo (Higgs, 2003; Hobbs et al., 2011; Lei et al., 2016). Además, beneficia e involucra a las personas (Keenleyside et al., 2012; Groot et al., 2013) y se sustenta en el conocimiento histórico de los ecosistemas (Hobbs et al., 2011; Balaguer et al., 2014; Higgs et al., 2014); siendo estos, sus principios básicos (Suding et al., 2015).

Restauración ecológica pasiva y activa

Jones et al. (2018) sugieren que, aun cuando los ecosistemas se recuperan paulatinamente, después de disturbios a gran escala como la agricultura, derrames de petróleo y tala, no se logran recuperar por completo (tomando como referencia las condiciones previas al disturbio), siendo las fases finales de la recuperación las más difíciles de alcanzar. Lo anterior a pesar de realizar esfuerzos de restauración activa, los cuales no mostraron diferencias significativas con respecto a la restauración pasiva; por lo que los autores

recomiendan que está última sea considerada como primera opción cuando la recuperación de los ecosistemas en las primeras fases no ocurre de forma lenta. Por otro lado, en el caso específico de los bosques tropicales, Crouzeilles et al. (2017) señalan que retirar el agente de disturbio y dejar actuar al proceso de regeneración natural, como mecanismo de restauración, presenta mayor porcentaje de éxito en alrededor de 133 estudios analizados, en cuanto se refiere a biodiversidad (plantas, invertebrados y aves) y estructura de la vegetación. Sin embargo, conforme a Meli et al. (2017) no existe una diferencia significativa entre la regeneración natural y esfuerzos de restauración activa, en bosques que fueron talados y empleados, por ejemplo, para el desarrollo de ganadería; a diferencia de sitios afectados por la minería, en donde, se da una mayor y más rápida recuperación al emplear estrategias de restauración activa. A pesar de ello, varios estudios concluyen que la selección del mejor enfoque debe considerar los diferentes factores abióticos y bióticos que inciden en la regeneración y restauración de los bosques, como por ejemplo: la conectividad de la cobertura forestal en el paisaje, la precipitación anual, condiciones edáficas y la intensidad de las perturbaciones en el pasado y el historial del uso del suelo (Holl et al., 2011; Chazdon, 2014; Chazdon & Guariguata, 2016; Latawiec et al., 2016; Porter et al., 2016; van der Sande et al., 2022), así como también de los objetivos específicos del proyecto y los recursos disponibles para desarrollarlo (Aguilar & Ramírez, 2016; Meli et al., 2017; Atkinson & Bonser, 2020).

Historial del uso del suelo y restauración ecológica

El uso humano del suelo ha transformado alrededor del 75% al 95% de los ecosistemas terrestres (Riggio et al., 2020; Ellis et al., 2021) y en la actualidad, corresponde a una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en el mundo (Pereira et al., 2012; Díaz et al., 2019). Conocer el historial de uso del suelo resulta un aspecto importante para la restauración ecológica (Holl et al., 2011; Gao et al., 2015; Crouzeilles et al., 2016) ya que este, puede derivar en un legado duradero que incide en la regeneración de los ecosistemas (Turley et al., 2020). Por ejemplo, en algunos casos, los bosques se recuperan rápidamente cuando se detiene el uso del suelo que lo impedía y ocurre la sucesión natural (Guariguata et al., 1997; Letcher & Chazdon, 2009). Mientras que en sitios altamente perturbados y donde se ha dado un uso intensivo del suelo, así como la existencia de vegetación exótica y la

degradación del suelo, ocurre una recuperación lenta o nula (Holl et al., 2011), por lo cual, se requieren diversas formas de intervención activa (Meli et al., 2017). Turley et al. (2020) concluyen que el desarrollo de la agricultura intensiva ha dejado un efecto importante en la diversidad microbiana del suelo incluso 50 años después de haber abandonado dicha actividad, siendo lo cual, aun cuando se han realizado esfuerzos para restaurar el sitio, ha afectado el establecimiento de plantas nativas y la productividad de estas. De manera similar, en sitios de sabana con uso de suelo anterior correspondiente a la agricultura, el mayor efecto del legado histórico del uso del suelo ha afectado, principalmente las propiedades edáficas y limitado, la abundancia de organismos, diversidad e interacción entre especies, aún luego de haber realizado esfuerzos de restauración (Brudvig et al., 2021).

Restauración ecológica del bosque seco tropical

En América, la mayor parte de proyectos de restauración ecológica en bosques secos tropicales se caracterizan por ser sitios donde, los usos anteriores del suelo han sido agricultura y/o ganadería, acompañado de la constante ocurrencia de incendios; además de haber sido invadidos por especies gramíneas exóticas sobresaliendo las especies *Megathyrsus maximus* e *Hyparrhenia rufa* (Franklin & Molina, 2010; Ellsworth et al., 2015; Jaime et al., 2017).

La prolongación de la estación seca, producto del cambio climático, también ha limitado las prácticas pasivas y activas de restauración (Barajas et al., 2006; de la Peña et al., 2022; Mesa et al., 2022). Experimentos realizados en comunidades vegetales en gradientes de disturbio en Hawái, han mostrado que existe una mayor sobrevivencia de plántulas en sitios de calidad alta, caracterizados por suelos fértiles y con adecuados contenidos de humedad, es decir, un menor estrés abiótico; por otro lado, en los sitios en donde las condiciones edáficas no son adecuadas y existe un alto estrés biótico por la presencia de gramíneas invasoras, la sobrevivencia de plántulas ha sido menor o casi nula (Ammond et al., 2012). Por otro lado, en bosques secundarios en diferentes estadios de sucesión, que anteriormente fueron pastizales en un paisaje fragmentado y afectados por la ocurrencia de incendios de diferente intensidad, se ha observado que la capacidad de rebrote de las especies influencia

de forma importante la riqueza y diversidad de los sitios en este tipo de contexto; por lo que el proceso de recuperación no ocurre por el arribo de semillas de fuentes cercanas y su capacidad de germinación; siendo esto un aspecto que se considera importante en la planificación de la restauración (Vieira et al., 2006)

Con base a un experimento de restauración empleando la plantación de especies arbóreas tanto heliófitas como esciófitas, en un sitio usado anteriormente para el pastoreo y ganadería intensiva y con abundancia *Hyparrhenia rufa* en el Parque Nacional Santa Rosa Costa Rica; Gerhardt (1993) menciona que la restauración pasiva de este tipo de ecosistemas puede alcanzarse únicamente cuando en el sitio existen bosques cerca que funcionen como fuente semillera e islas de vegetación arbórea o individuos remanentes que generen nuevas y más favorables condiciones de microsítios. Esto ha sido descrito también por Vieira et al. (2006), Álvarez & Williams (2012) y Derroire et al. (2016), siendo las condiciones edáficas del sitio (suelos vertisoles), la vegetación herbácea y las especies arbóreas seleccionadas para plantar, los aspectos de mayor influencia en el establecimiento y sobrevivencia de las plántulas (Álvarez & Williams, 2012). Otros estudios han empleado tratamientos con hidrogel para reducir el estrés y mortalidad provocados por déficit hídrico (Fajardo et al., 2013). Además, dado a que, los bosques secos tropicales se encuentran distribuidos en un mosaico de suelos, algunos estudios orientados a la restauración ecológica emplean enmiendas como la aplicación de hojarasca (Rai et al., 2016; Castellanos et al., 2018) con la finalidad de favorecer la cantidad de materia orgánica y la presencia de nutrientes.

En el caso específico de Centroamérica, como estrategias de restauración se han establecido plantaciones de enriquecimiento y la protección frente a la ocurrencia de incendios (Griscom & Ashton, 2011). De forma generalizada, estas prácticas han resultado eficaces en Costa Rica (Janzen, 2002). Sin embargo, dado a la predominancia de suelos vertisoles y sitios donde, debido a su degradación el proceso de sucesión natural se ha visto detenido y se da una alta mortalidad de plántulas, se han requerido esfuerzos de restauración activa. Como parte de ello, se ha mostrado que es posible llevar a cabo la restauración del bosque seco tropical en suelos vertisoles, a partir de la aplicación de enmiendas como el hidrogel o

arena (que contribuye a mejorar la infiltración del suelo), así como la eliminación de la competencia de especies gramíneas invasoras; realizando el trasplante de especies arbóreas seleccionadas cuidadosamente en función de sus rasgos funcionales (Powers et al., 2009; Werden et al., 2018).

4. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH), situada en el Área de Conservación Guanacaste (ACG), en el Pacífico Noroeste de Costa Rica (X:325456, Y:1184755; Sistema de Proyección CRTM05), provincia de Guanacaste, cantón de Liberia y distrito Nacascolo (Figura 1). El sitio corresponde a la base de operaciones del Programa de Restauración y Silvicultura Intensiva del ACG y cuenta con un área de 7 293 ha (Spittler, 2001; Rigg, 2013). El sitio corresponde a la base de operaciones del Programa de Restauración y Silvicultura Intensiva del ACG y cuenta con un área de 7 293 ha (Spittler, 2001; Rigg, 2013).

El principal sitio de interés para el presente estudio correspondió al sector “Las Mesas”, el cual cuenta con una extensión de 69,48 ha y estuvo dedicado a la ganadería hace aproximadamente 30 años. En la actualidad, se encuentra constituido por un pastizal arbolado, compuesto principalmente por la gramínea *Hyparrhenia rufa* y especies propias de los estadios tempranos de la regeneración del bosque seco característico de la zona; como por ejemplo *Atelia herbert-smithii* Pittier. (endémica de Santa Rosa y de la EEFH), *Cordia gerascanthus* (en peligro de extinción), *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Standl., *Spondias mombin* L., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Cochlospermum vitifolium*, *Crescentia cujete* L. y *Lonchocarpus* sp. Es importante señalar que el suelo del sitio corresponde al orden vertisol.

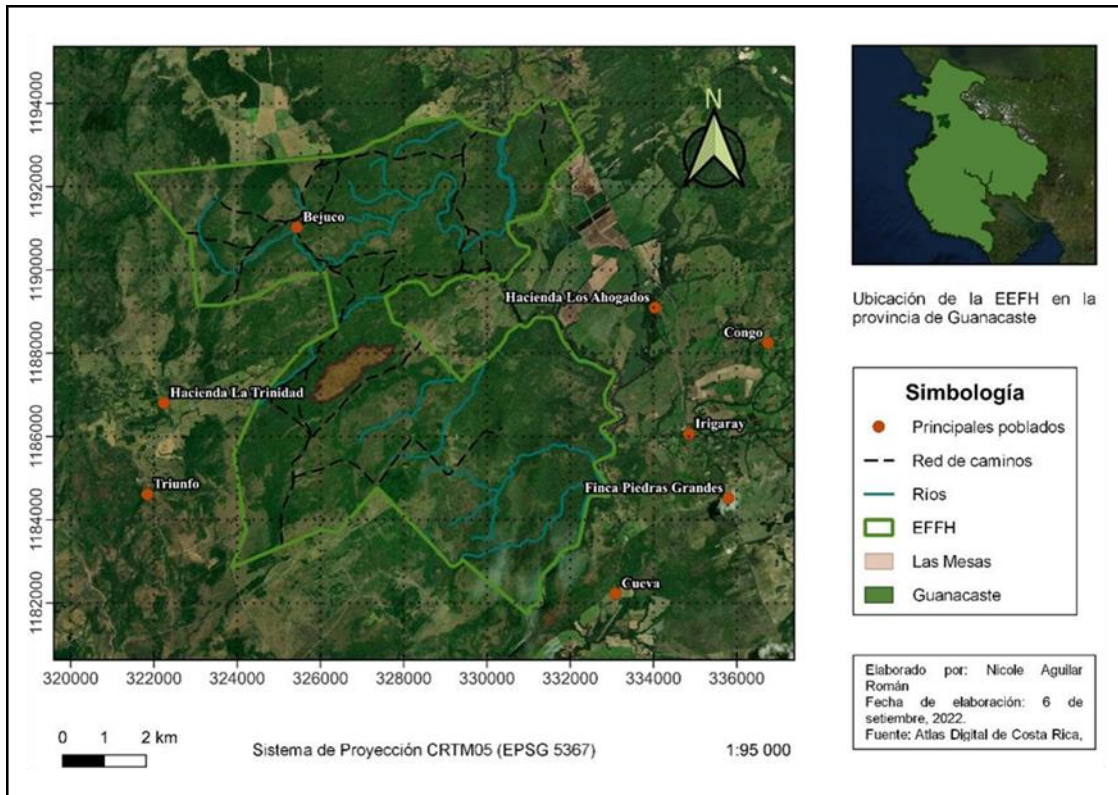


Figura 1. Ubicación de la Estación Experimental Forestal Horizontes, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

Además, se empleó información sobre vegetación arborea existente en tres sitios con diferentes estadios de sucesión (Cuadro 1), cuya estructura y composición florística fueron estudiados previamente (Reyes, 2012, Pacheco, 2019) con el fin de determinar la efectividad de esfuerzos de restauración pasiva realizados con anterioridad en la estación.

Cuadro 1. Características y ubicación de los cuatro sitios de estudio en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.

Sitio	Abreviación*	Coordenadas geográficas (CRTM05)		Edad (años)**	N/ha**
		X	Y		
Las Mesas	LM	325313	1191883	30	25
Saravia	SAR	329577	1187113	44	746
La Laguna	LAG	328425	1185967	32	751
Bajo sombra	BS	324706	1184423	36	803

*De esta sección en adelante se hará referencia a los sitios empleando las abreviaciones enlistadas en el cuadro.

** La edad y la densidad de los sitios corresponde a mediciones e información generada por Pacheco (2019), por lo que en el presente estudio se parte de esas edades para el análisis y discusión de los datos.

Bajo Sombra (BS)

Este sitio se caracteriza por la presencia de suelos de tipo Inceptisol y por pendientes planas a levemente pronunciadas, con la existencia de poca pedregosidad. En el pasado constituyó un potrero arbolado y permitió el establecimiento de un ensayo de enriquecimiento en el año 1994 (Reyes, 2012).

La Laguna (LAG)

Al igual que el sitio LM (Las Mesas), LAG fue históricamente empleado para el desarrollo de la ganadería y presenta una pedregosidad de leve a alta, con algunos puntos presentes en las parcelas estudiadas por Reyes (2012) y Pacheco (2019) en donde se encuentran expuestas, la topografía es levemente inclinada. Un aspecto importante de este sitio es que se vió afectado por la ocurrencia de incendios cuando se encontraba en la fase de sucesión temprana.

Saravia (SAR)

Corresponde al sitio en recuperación con la mayor edad, con una topografía plana, leve pedregosidad, con algunas piedras expuestas y presencia de suelos entisoles y vertisoles.

En el presente estudio, las muestras de suelo fueron tomadas en el sitio con presencia de suelos “sonzocuites” (Alvarado 2022, comunicación personal).

4.1.1. Clima

La EEFH se constituye en la zona de vida denominada bosque seco tropical (Bs-T) (Spittler, 2011; Ortiz, 2014). Se caracteriza por la existencia de una estacionalidad definida por la duración de la estación seca que toma lugar de diciembre a mayo con una importante disminución de la precipitación. El sitio presenta una precipitación anual de 1561,40 mm y una temperatura media anual de 27,54 °C (IMN, 2018).

4.1.2. Suelos

Según estudios realizados en la Estación se identifican siete unidades cartográficas, con predominancia de suelos vertisoles en el sector sur; suelos inceptisoles en sitios con pendientes del 2-5%; además de suelos entisoles y andisoles dominantes en la región norte (Winters, 1997).

4.1.3. Topografía

El sitio Las Mesas presenta una pendiente que va de 0-16,07%, con una media del 1% y por tanto, es un sitio plano a moderadamente ondulado (Cubero, 2005).

4.2. Historial de uso del suelo en el sector Las Mesas

Para determinar el uso histórico del sitio se llevó a cabo la aplicación de entrevistas, el uso de imágenes satelitales y la fotointerpretación para comprobar parte de la información obtenida en las mismas.

4.2.1. Aplicación de entrevistas

Se aplicó una entrevista abierta a un total de tres personas, correspondientes a dos funcionarios de la EEFH que laboran en el sitio desde el año 1989 y una exfuncionaria quien también laboraba en la estación desde 1989 y concluyó sus labores en el 2021.

A cada persona se le consultó si sabía cuál fue el uso de sitio Las Mesas previo al traspaso de las tierras de la Hacienda Horizontes al SINAC, también si conocían el sitio y la fecha en que lo visitaron por primera vez, así como el uso que tenía el sitio al momento de dicha visita y si Las Mesas ha presentado cambios en cuanto a uso, vegetación y fauna en los últimos 33 años. Por otro lado, se consultó sobre la ocurrencia de fenómenos estocásticos que pudieron haber generado un impacto en el proceso de sucesión natural. Se preguntó sobre la existencia de vegetación dominante y acerca de posibles acciones que hayan sido desarrolladas por la EEFH con la finalidad de promover la conservación del sitio y su restauración. Además, se obtuvo información importante sobre las colindancias del sitio y los usos del suelo en ellas, permitiendo adquirir una noción general sobre la matriz circundante. En el Anexo 1 se adjunta la entrevista aplicada a cada persona (con las respectivas preguntas y respuestas).

4.2.2. Fotointerpretación de imágenes satelitales

Se caracterizó de forma cualitativa el uso del suelo del sector. “Las Mesas” para el período 1969-2022; empleando imágenes satelitales Landsat y Sentinel 2A, la herramienta “Histórico de mapas” disponible en la plataforma de datos geoespaciales Google Earth Pro en su versión 7.3.4.8642. y la guía del Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica (Rosales,

2013).

La herramienta de “Histórico de Mapas” permitió visualizar una serie de imágenes que comprendían el período 1969-2021; sin embargo, cabe destacar que, en la misma, no se encontraron imágenes satelitales para todos los años del período en interés, únicamente para el año 1969, por tanto, se recurrió al uso de imágenes satelitales de acceso abierto y de la mejor calidad posible, siendo estas provenientes de los satélites Landsat 1, Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel 2 nivel 2A, disponibles para los años 1974, 1989, 2005, 2012 y 2022 respectivamente; seleccionados según la información recibida por las personas entrevistadas. Es importante señalar que se realizó que para cada imagen descargada se realizó una corrección atmosférica (preprocesamiento) empleando el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo, 2020) integrado al software QGIS en su versión 3.14.16. En el Anexo 2 se presenta información en detalle sobre las imágenes satelitales, el año que representan y las operaciones de preprocesamiento realizadas a cada una.

La validación de los posibles cambios históricos en el uso del suelo en el sitio Las Mesas, en el presente estudio es de carácter cualitativo, pues no se cuenta con datos de cobertura para todos los años que permitan, por ejemplo, validar información que pueda obtenerse a partir del procesamiento de las imágenes satelitales, como, por ejemplo, firmas espectrales que puedan compararse con la vegetación que pudo existir en determinado momento.

4.3. Diagnóstico de la vegetación

Se establecieron un total de 18 parcelas temporales de 20 x 20 m en el sector Las Mesas con el fin de conocer la vegetación arborea presente en el sitio. La distribución de estas parcelas se muestra en la Figura 2.

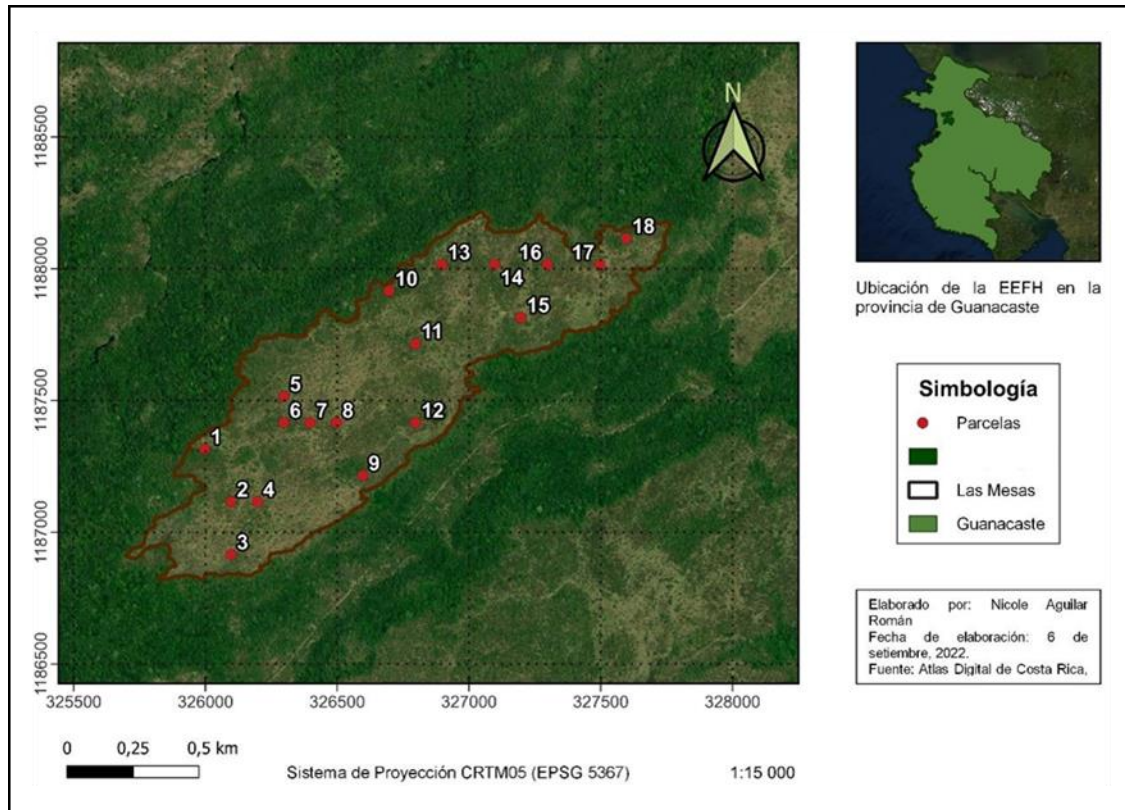


Figura 2. Parcelas de 20 x 20 m establecidas en el sector as Mesas, para el muestreo de la vegetación y toma de variables edáficas, Guanacaste, Costa Rica.

En cada una de estas parcelas y para cada árbol con un diámetro al 1,30 m del suelo mayor o igual a los 10 cm, se tomaron datos de diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total y diámetro de copa. Con base a la información dasométrica colectada, se calculó el área basal del sitio, como se describe en las fórmulas a continuación:

$$g = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d}{100}\right)^2 \quad (1) \quad G = (\sum_1^N g) \times \frac{10000}{400} \quad (2) \quad K = \frac{d_{\text{máximo}} + d_{\text{mínimo}}}{2} \quad (1)$$

Donde:

g: área basimétrica (m²)

d: diámetro (cm)

G: área basal (m²)

K: diámetro de copa (m)

$d_{\text{máximo}}$: diámetro máximo (cm)

$d_{\text{mínimo}}$: diámetro mínimo

Para conocer las especies herbáceas y arbustivas presentes, se empleó el Método Braun Blanquet, que se basa la abundancia y cobertura de plantas en un sitio. Este método, permite asignar un índice de abundancia (Cuadro 2) que indica la afinidad de las especies presentes a una comunidad vegetal específica. Se establecieron ocho parcelas de 1 x 1 m en los alrededores inmediatos a las parcelas de 20 x 20 m establecidas, tomando la información sobre el porcentaje de abundancia y en función de este se asignó un índice de abundancia a cada especie registrada.

4.3.1. Diversidad de la vegetación arborea y dinámica de sucesión

La diversidad Alpha para la comunidad vegetal del sitio LM se determinó con el índice de diversidad de Shannon-Wiener ya que fue empleado por Reyes (2012) y Pacheco (2019). Para comparar la diversidad de LM con los sitios BS, LAG y SAR se utilizó el Coeficiente de Similitud de Jaccard. Además, con el fin de conocer el peso ecológico de las especies presentes, se calculó el índice de Valor de Importancia (IVI) con base al área basal, la distribución diamétrica del número de árboles por hectárea (N/ha) y la distribución diamétrica del número de individuos para cada especie presente para inferir sobre la dinámica de la regeneración en el sitio.

Cuadro 2. Escala de Braun Blanquet para la estimación de la cobertura vegetal herbácea.

Valor	Cobertura (%)
+	<1
1	1-5
2	6-5
3	26-50
4	51-75
5	76-100

4.4. Muestreo de suelos para análisis químico y propiedades físicas

4.4.1. Análisis químico completo

Para la recolección de muestras para el análisis químico completo se siguió la metodología planteada por Schweizer (2010). Dado a que en no existen diferencias en términos de topografía (como se mostró anteriormente) y que existe una distribución bastante homogénea de pastos con pequeñas islas de árboles, no se consideró necesario realizar una estratificación de este para la toma de muestras.

Con la finalidad de obtener un estándar en la metodología para adquirir las muestras, se tomó cada una de ellas en el centro de cada una de las 18 parcelas de 20 x 20 m establecidas en el sitio LM, mientras que, dado a la diferencia de cobertura y tamaño de las parcelas ya establecidas con los sitios de bosque (60 x 60 m), se tomaron ocho muestras de suelo a dos profundidades (0-20 cm, 20-40 cm) por cada una de las parcelas presentes por sitio, es decir, un total de 16 submuestras de suelo para cada uno de los tres sitios (BS, LAG y SAR). Para la obtención de las muestras se empleó un barreno tipo holandés.

Es importante recalcar que, dado a la presencia de piedras superficiales en el sector LM para 5 parcelas no fue posible obtener una muestra a más de 20 cm de profundidad, en 8 parcelas se logró obtener la muestra a los 40 cm mientras que para las 5 parcelas restantes

se obtuvieron muestras hasta los 30 cm.

Una vez tomadas todas las submuestras de suelo para todos los sitios BS, LAG y SAR, se procedió a realizar la técnica conocida como “cuarteo” para homogenizar el suelo. Después de la obtención de las muestras en campo, estas se dejaron secar al aire por 15 días y posteriormente, fueron enviadas al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA) donde se les realizó un análisis químico completo por el método KCl-OLSEN (Olsen, 1954). A partir de este análisis se obtuvo conocimiento sobre las concentraciones de Fósforo (P), Nitrógeno (N), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cu (Cobre), Fe (Hierro), Zn (Zinc), Mn (Manganeso), C (Carbono) y N (Nitrógeno) en el suelo. Del mismo modo, permitió conocer el pH y acidez del suelo, la conductividad eléctrica, la CICE (Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva) y la relación Carbono-Nitrógeno (C/N) para inferir sobre la materia orgánica.

Se realizó la interpretación del análisis químico se realizó según la metodología planteada por Molina & Meléndez (2002)

4.4.2. Propiedades físicas

En campo, los datos para el estudio de las propiedades físicas del suelo: textura, resistencia mecánica, densidad aparente y profundidad efectiva se tomaron en el punto central de cada una de las parcelas de 20 x 20 m establecidas en el sector LM. Para los sitios BS, LAG y SAR se tomaron un total de 16 datos (8 por parcela en cada sitio) sobre la resistencia mecánica del suelo y la profundidad efectiva, así como 4 datos de densidad aparente por sitio.

Para la resistencia mecánica, se empleó un penetrómetro marca Agratronix modelo AG081807. Se tomó la lectura del instrumento (presión expresada en libras por pulgadas cuadradas) para cada uno de los puntos de muestreo, y se determinó la resistencia mecánica para cada uno de ellos a la profundidad total a la que se logró introducir el instrumento

Se obtuvo la densidad aparente (D_a) a partir del método del cilindro. En campo, se hizo uso de un portacilindros, un cilindro metálico y un mazo de goma. Posterior a la colecta en campo, las muestras se colocaron en un horno Autonics TC3YT a una temperatura de 105°C por 24 horas para conocer su peso seco. Finalmente se calculó la densidad aparente a partir del peso seco de la muestra y el volumen del cilindro (2).

$$D_a = \frac{\text{peso seco (g)}}{\text{volumen (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

La variable de profundidad efectiva se midió con el mismo barreno con el que se obtuvieron las muestras para análisis químico; cuyo eje se gravó cada 10 cm. El dato se tomaba hasta que, por la presencia de rocas o raíces elongadas y fuertes, no fuera posible seguir introduciendo el barreno verticalmente en el suelo. En términos generales, el dato de la profundidad total, aún en los puntos donde se logró alcanzar profundidades de los 60 cm, se vio limitada por el largo total del barreno (91 cm).

4.4.3. Análisis estadístico

Prueba T-Student para dos variables independientes.

Se aplicó una prueba de T-Student para variables independientes a cada una de las variables físicas y químicas derivadas del análisis del suelo con la finalidad de determinar la existencia de diferencias significativas de sus medias entre los sitios LM, BS, LAG y SAR. Previo a su ejecución, se verificó la normalidad de los datos y su homocedasticidad. Estas pruebas se realizaron en el software estadístico R en su versión 4.0.2 y Rcommander 2.8-0. En total se corrieron 18 pruebas T-Student.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se sometió el total de variables edáficas (químicas y físicas), tomadas en campo para el sector Las Mesas y los tres sitios de bosque (BS, LAG y SAR), a un Análisis de Componentes Principales (ACP de aquí en adelante). Se realizó con el fin de reducir la

dimensionalidad del set de datos, y explicar la varianza entre estos a partir de un número reducido de datos.

Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

Una vez reducido el set de variables mediante los resultados obtenidos en el ACP, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC, de aquí en adelante). Se emplearon los valores de ausencia- presencia (binarios, 0-1) de las especies arbóreas para analizar la potencial influencia de las variables edáficas en la presencia de estas especies cada uno de los sitios. También se realizó un ACC para conocer la influencia de las propiedades edáficas en la presencia-ausencia de las especies herbáceas y arbustivas en el sector Las Mesas.

Tanto el ACP como el ACC se desarrollaron en el software estadístico Past versión 4 y el complemento estadístico XLSTAT versión Comments Windows 10.2015.

4.5. Fragmentación del paisaje

Para determinar la fragmentación de paisaje se usó el complemento LECOS (Landscape Ecology Statistics, por sus siglas en inglés) a través del Sistema de Información Geográfica Qgis, en una versión 3.22.11 que permite obtener la estadística sobre la ecología de paisaje a nivel de clase de uso del suelo y a nivel de paisaje de forma automatizada, siguiendo la metodología planteada por Jung (2013).

4.5.1. Selección de sitios a conformar el paisaje en estudio

Tomando en consideración que los sitios de bosque seco presentes en el país se encuentran en parches dispersos en una matriz de uso agropecuario y urbano; procurando seleccionar las áreas de bosque más cercanas y así inferir sobre su conectividad con la EEFH. Por tanto, se eligió el Parque Nacional Santa Rosa, corresponde a uno de los sitios de bosque seco más estudiados en el neotrópico (Alvarado et al., 2013, Sánchez Azofeifa et al., 2013, Portillo-Quintero et al., 2015) y el Parque Nacional Guanacaste, sitios en donde se han

realizado esfuerzos de conservación y restauración ecológica, y que se encuentran a 1 Km y 7 Km respectivamente de la EEFH; esto según la herramienta de medir distancias de Qgis. como barrera para delimitar el paisaje en estudio se empleó las rutas 1 (sección este), la 21 (sur) y los bordes (límites) del P.N. Guanacaste y P.N. Santa Rosa. El área total del paisaje en estudio corresponde a 117625,774 ha.

4.5.2. Capas geospaciales

Se empleó la capa geoespacial “Tipos de Bosque” correspondiente a la cobertura de Costa Rica generada como parte del Inventario Nacional Forestal del año 2014-2015 (SINAC, 2015). Se realizaron correcciones pertinentes respecto a cambios en los tipos de cobertura del 2015 a las actuales, utilizando una imagen satelital Sentinel 2A correspondiente al 5 de febrero del año 2022 y el Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica (Rosales, 2013). Posteriormente, se clasificó la cobertura en “Bosque” (Bosque, bosque decido, bosque maduro y bosque secundario) y “No bosque”, para luego rasterizar la capa y finalmente ejecutar LecoS.

La cobertura del sitio de estudio conforme a la capa de cobertura anteriormente mencionada y con los cambios y correcciones aplicadas se observa en la Figura 3.

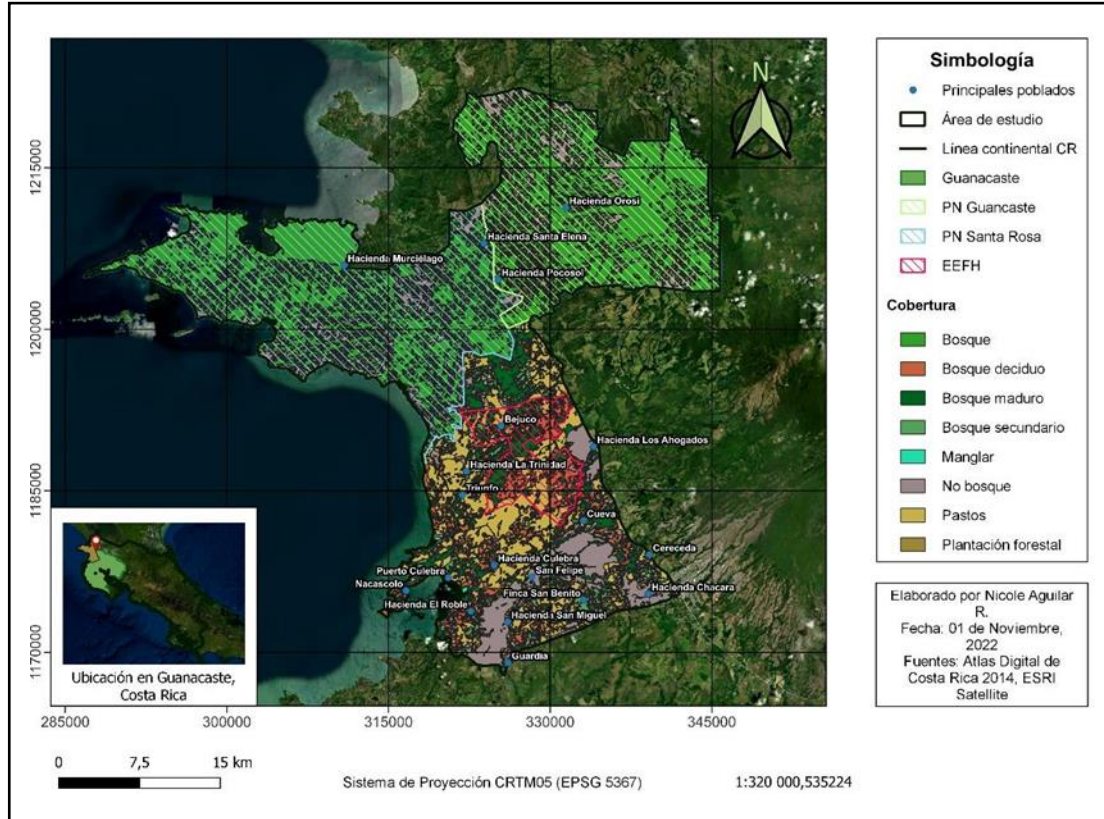


Figura 3. Cobertura actual del paisaje en estudio, Guanacaste, Costa Rica.

Las métricas obtenidas fueron número de parches, densidad de parches, mayor y menor área de parche, área media del parche, longitud del borde, área efectiva, Índices de Diversidad de Parches (Equidad de Shannon, Índice de Shannon e Índice de Simpson).

5. RESULTADOS

5.1. Determinación del historial de uso del suelo

Uso y cobertura inicial

Las personas entrevistadas coincidieron que para el año 1989, cuando la Hacienda Horizontes fue donada a la Fundación de Parques Nacionales y empezó a administrarse por el ACG, el sitio denominado “Las Mesas” formaba parte de las áreas de pastoreo y dedicadas principalmente al desarrollo de ganadería extensiva, con abundancia de pasto jaragua (*Hyparrhenia rufa*) y con presencia de muy pocos árboles. Además, se presume que la actividad de ganadería en el sitio tomó lugar a inicio de la década de 1960.

Del mismo modo, la presencia y permanencia del pasto jaragua se vió asociada con la existencia de suelo del orden vertisol en el sitio. Por otro lado, se señala como aspecto importante la presencia y abundancia de rocas en bloques planos y alargados, las cuales, en algunos casos se encuentran a un nivel casi superficial.

Como parte de la vegetación presente en la actualidad, aparte del pasto jaragua, se mencionaron arbustos, árboles como *Bursera simaruba* (Indio desnudo), *Cochlospermum vitifolium* (Poro poro), *Guazuma ulmifolia* (Guácimo), *Lonchocarpus* sp. (Chaperno), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Standl. (Cortés negro), *Cedrela odorata* L. (Cedro amargo), *Acacia collinsii* R. (cornizuelo), *Acacia farnesiana* (L.) Willd. y Arn. (Aromo), *Caesaria* sp. y *Trichilia* sp.

Cambios en la vegetación

Ha ocurrido la formación de pequeñas islas con árboles. Se destaca la abundancia de la especie *Guazuma ulmifolia*, y se asegura que ha permitido que otras especies logren establecerse en el sitio. Conforme a uno de los entrevistados, los principales cambios en la composición de especies se han evidenciado durante los últimos 10 años. Estos cambios en la vegetación fueron atribuidos a la matriz inmediata del sitio, que, a bosque secundario, y ha facilitado la llegada de especies arbóreas al sitio. Por otro lado, consideran también

puede deberse al retiro de agentes degradantes como la presencia de ganado.

Matriz circundante

Las Mesas se encuentra rodeada por un área de bosque secundario. El sector norte limita con un sitio denominado como “Sampancho”, en donde han ocurrido incendios forestales, sin embargo, el sitio se ha ido regenerado y en la actualidad cuenta con la presencia de un ensayo clonal. Además, es importante señalar que, en la sección oeste, colinda con un bosque secundario en el cual el suelo es de tipo “zonzocuitle” (del orden vertisol), y presenta abundancia de árboles densos, remanentes. La colindancia en la sección este corresponde a la finca en “El Jobo”, donde se practica la ganadería no intensiva, y existe un remanente de bosque ripario.

Ocurrencia de incendios provocados y fenómenos estocásticos

En el año 2012 ocurrió el último incendio en el sitio, abarcó toda el área correspondiente a Las Mesas. Por otro lado, en la finca conlindante (El Jobo) se dio la ocurrencia constante de incendios forestales, que según asegura una de las personas entrevistadas, ha incidido en Las Mesas, provocando degradación del sitio y limitando los procesos de sucesión natural.

Con el paso del Huracán Otto y de tormentas tropicales ocurrió la caída de árboles grandes entre ellos individuos de *Lonchocarpus* sp., y *Cochospermun vitifolium*.

Presencia de fauna en el sitio

Se han observado con mayor frecuencia dantas (*Tapirus bairdii*), pumas (*Puma concolor*), venados (*Odocoileus virginianus*) y aves como búhos, gavilanes, trogones, pavas, zopilotes rey, reinitas y pericos.

Interés de la Estación Experimental Forestal Horizontes por el sitio en estudio

La EEFH ha mantenido el interés en el sitio desde la perspectiva de manejo del manejo y aprovechamiento sostenible del bosque. Sin embargo, dado a la situación económica de la EEFH se decidió someter el área a PSA por categoría de conservación del bosque.

Además, se ha protegido el sitio frente a la ocurrencia de incendios y se redujo paulatinamente el pastoreo, hasta eliminarlo por completo en el año 2005.

Con respecto a la validación con imágenes satelitales se evidenció que el sitio Las Mesas, fue un pastizal desde el año 1969 (Figura 4), y se observó la formación de pequeñas islas de regeneración sobre todo en el sector suroeste, situación que no muestra mayor cambio según la imagen satelital obtenida para el año 1974 (Figura 5).



Figura 5. Uso del suelo del sector Las Mesas para el año 1969, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

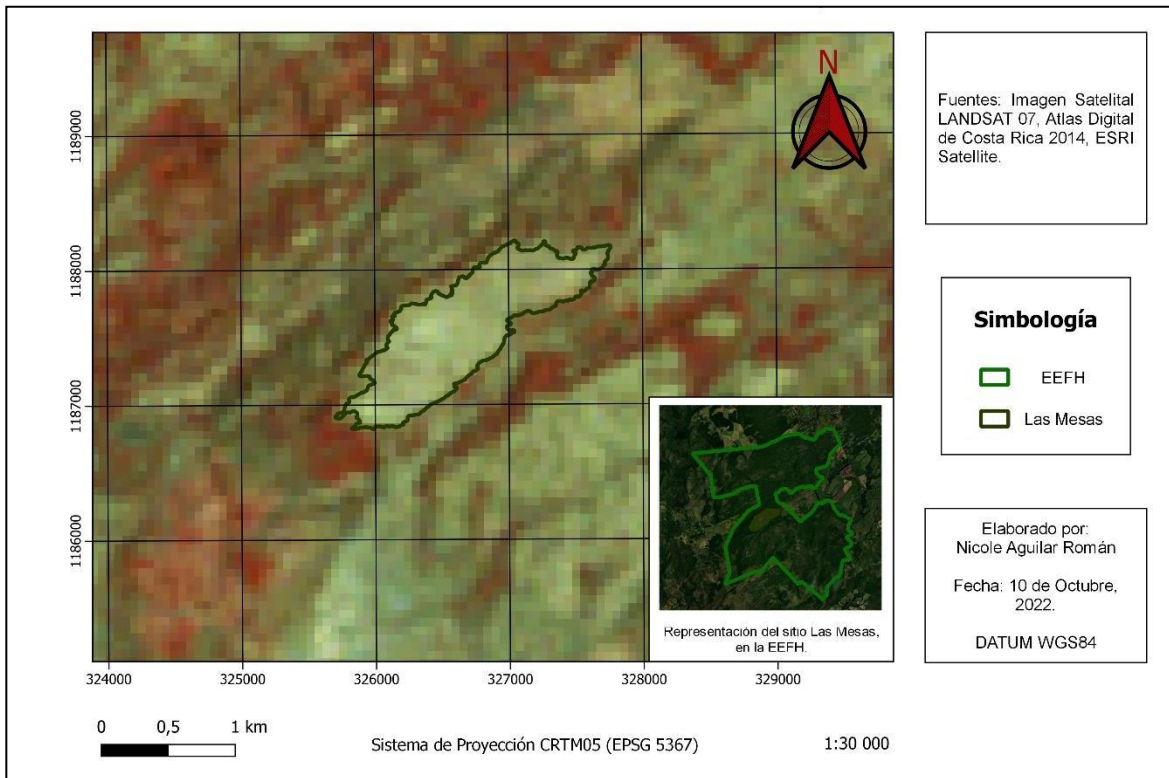


Figura 6. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 1974, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

La cobertura del sitio muestra un cambio importante, según la Figura 6, donde se observa la existencia de cobertura boscosa en la mayor parte del área, lo que indica que aún, cuando el sitio se usaba para el pastoreo del ganado, el proceso de sucesión natural pudo estar ocurriendo a un ritmo esperado (16 años más tarde), pues ya no existe sólo predominancia de pastos si no que se observa la presencia de cobertura arborea con mayor expansión que sólo islas de regeneración (tercera fase de sucesión).

A pesar de que se evidencia un cambio en la cobertura del sitio entre 1974 y 1989, ocurre una diferencia según lo observado en la imagen satelital del año 1989, donde ya se muestran espacios nuevamente ocupados por pastizal o sin cobertura arborea en la parte central y en los márgenes superiores del sitio. Esto puede ser un indicio de la ocurrencia y efecto de los incendios forestales, que solían ocurrir con frecuencia y en variadas ocasiones; lo cual, a su vez, no sólo pudo haber eliminado parte importante de la cobertura forestal que se había regenerado hasta entonces, si no también, dado a la naturaleza del

pasto jaragua, pudo haber provocado la propagación de este y haber incidido de manera negativa en la recuperación de la cobertura boscosa.

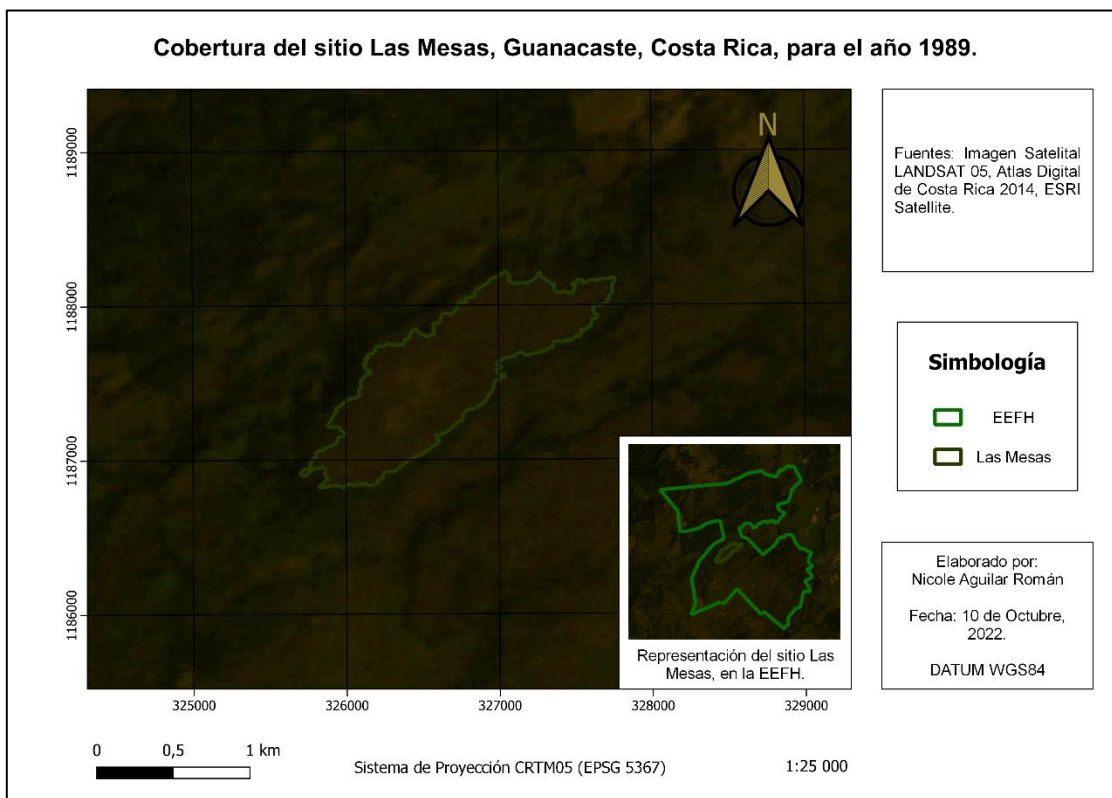


Figura 7. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 1989, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Para el año 2005, nuevamente se evidencia un aumento en la cobertura arborea distribuida de una forma más homogénea, como islas en diferentes partes del área (Figura 8). Dado a la ocurrencia del último incendio en el sitio, en el 2012, se muestra una pérdida de la mayor parte de cobertura que había logrado recuperarse, dejando parches de vegetación arborea y arbustiva (Figura 8) mucho más reducidos que en los años anteriores.

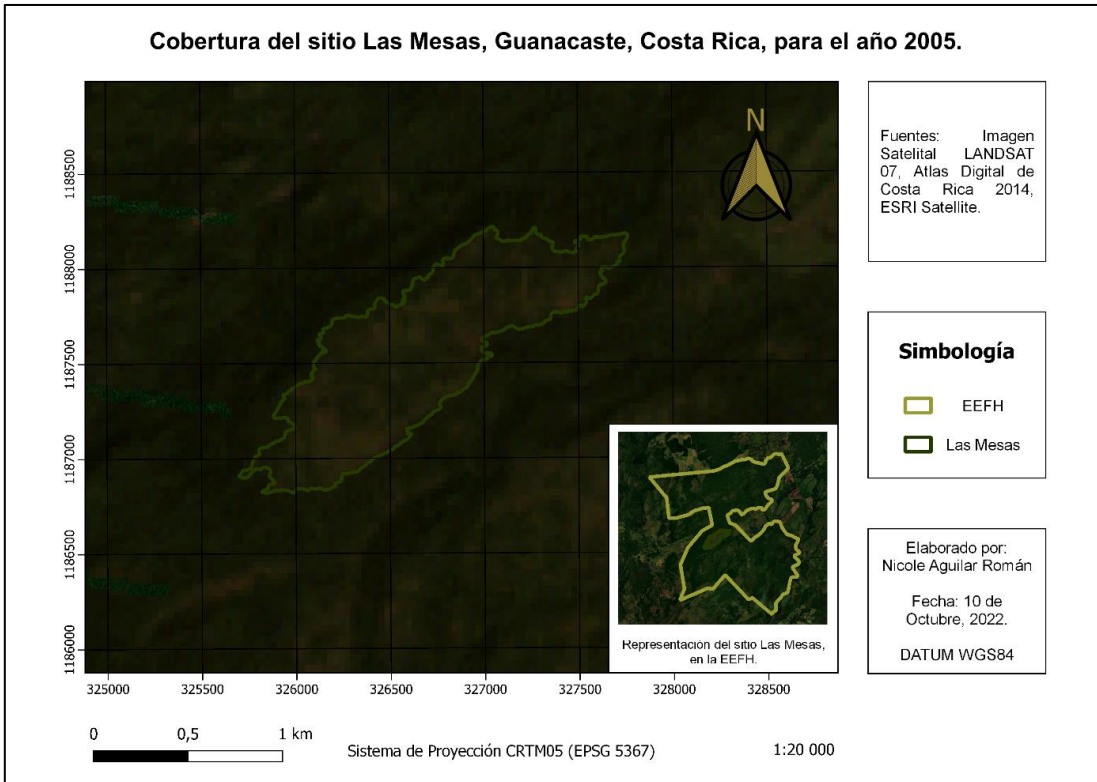


Figura 8. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 2005, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Se muestra un cambio importante en cuanto a lo observado entre el 2012 (Figura 9) y el 2022 (Figura 10), pues, en un período de 10 años se muestra un aumento en la cobertura de las ya anteriormente denominadas islas de regeneración, sin embargo, se muestra como el extremo suroeste y noreste del sitio siguen presentando menor cobertura en relación con la zona más central del sitio.

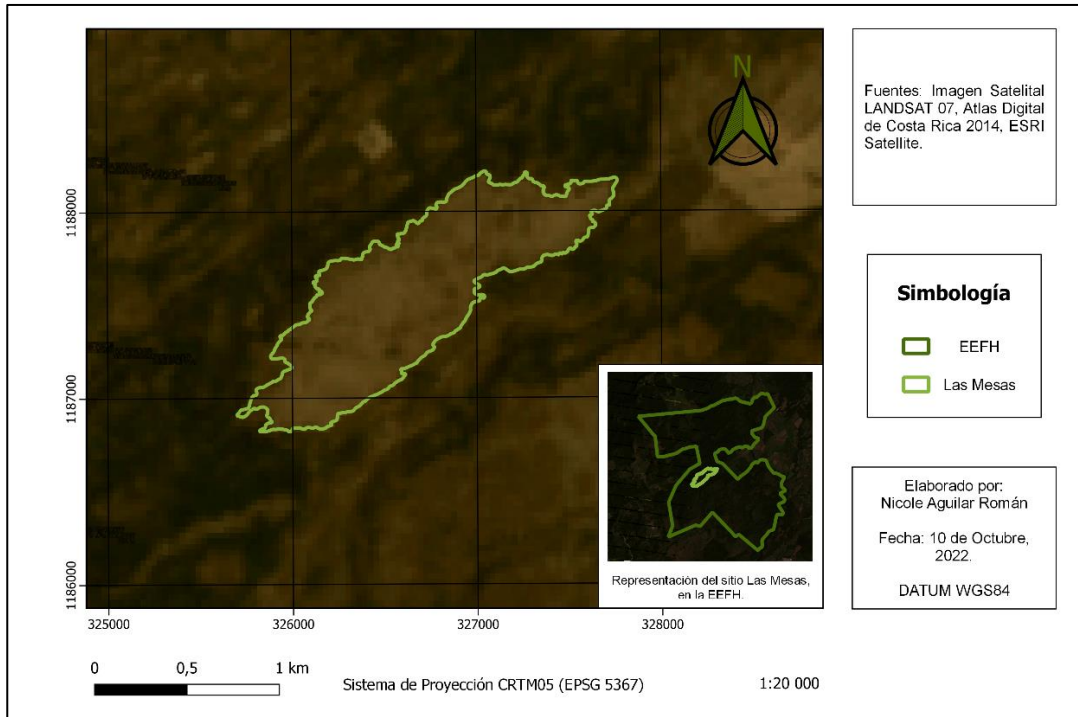


Figura 9. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 2012, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

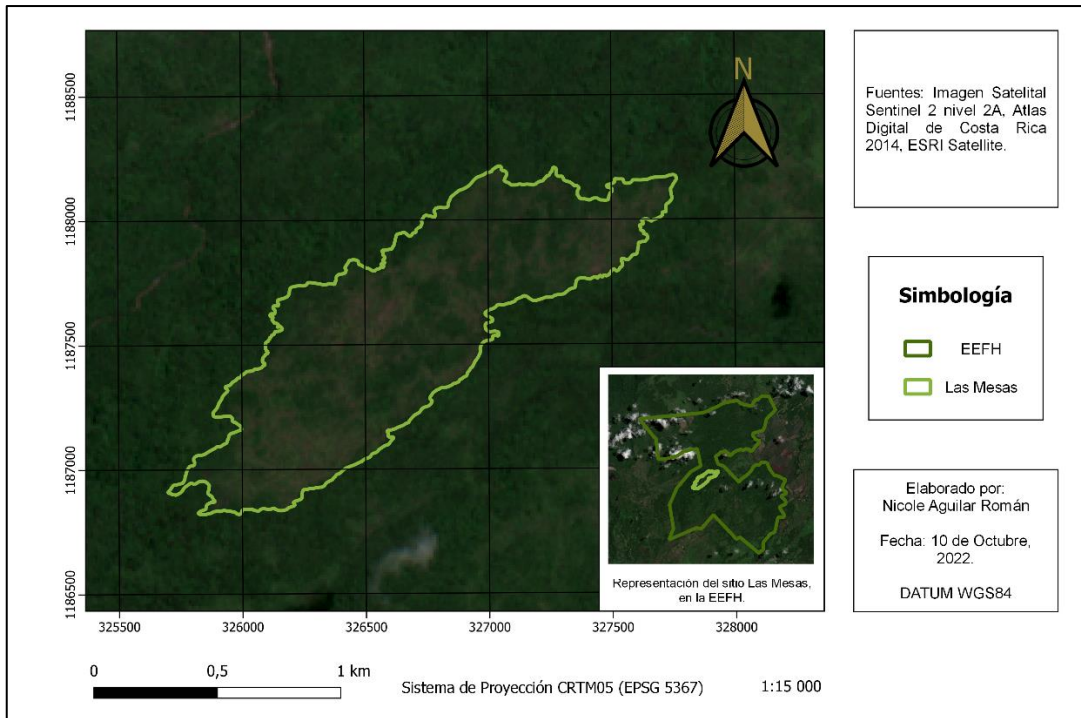


Figura 10. Uso del suelo del sitio Las Mesas para el año 2022, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

5.2. Diagnóstico de la vegetación

5.2.1. Diversidad de la vegetación arborea

Índice de Shannon

El Índice de Shannon para el sitio LM fue de 2,04, con un total de 157 individuos correspondiente a 17 especies. Como se muestra en el Cuadro 3, son valores cercanos a los reportados para los sitios de bosque secundario en comparación.

Cuadro 3. Índice de diversidad de Shannon para el sector Las Mesas y sitios de bosque secundario en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Sitio	Edad*	H'	Especies
LM	12*	2,04	17
BS	29	2,85	49
LAG	25	2,96	55
SAR	37	3,12	55

* Edad del sitio conforme a la ocurrencia del último disturbio (incendio).

Fuente: elaboración propia con información presentada en Reyes (2012).

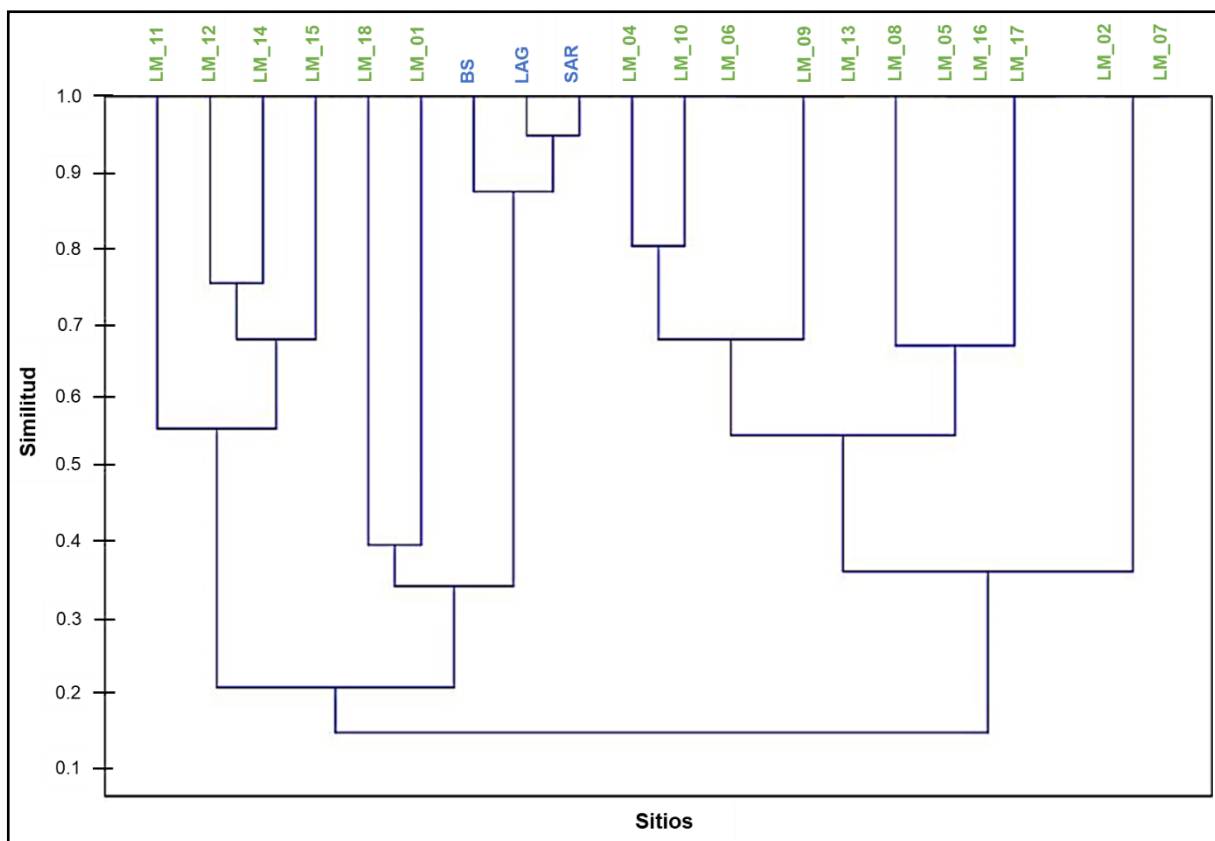
Coefficiente de diversidad de Jaccard

En el Cuadro 4 se presentan los valores del coeficiente de Jaccard obtenidos para la vegetación arbórea del sector LM en comparación con los sitios de bosque secundario. Como se observa, fueron todos valores muy inferiores a 1.

Cuadro 4. Coeficiente de Similitud de Jaccard para el sector Las Mesas en comparación con tres bosques en diferentes estadios de sucesión, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Sitio	LM	BS	LAG	SAR
LM	1,00	0,18	0,23	0,19
BS	0,18	1,00	0,58	0,37
LAG	0,23	0,18	1,00	0,57
SAR	0,19	0,37	0,57	1,00

El agrupamiento (clúster) generado empleando los valores del coeficiente de Jaccard (Figura 11) permite observar, que existe una mayor similitud en cuanto a la presencia/ausencia de especies entre los sitios LAG y SAR.



Fuente: elaboración propia con base a datos de Pacheco (2019) e información tomada en el sitio Las Mesas, julio 2022.

Figura 11. Índice de Jaccard para el sector Las Mesas en comparación con tres bosques en diferentes estadios de sucesión, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Por otro lado, el Cuadro 5 permite explicar, a través de las especies presentes en ambos sitios, los valores del Coeficiente de Jaccard obtenidos para LM y LAG, pues la mayor parte de especies presentes en el sector LM se encuentran también en LAG.

Cuadro 5. Especies arbóreas presentes en Las Mesas y los sitios de bosque secundario, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Especie	LM	BS	LAG	SAR
<i>Acacia collinsii</i>	X		X	X
<i>Albizia niopoides</i>	X	X	X	X
<i>Bursera simaruba</i>	X	X	X	X
<i>Cedrela odorata</i>	X	X	X	
<i>Chomelia spinosa</i>	X	X	X	X
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	X	X	X	X
<i>Crescentia alata</i>	X		X	
<i>Genipa americana</i>	X	X	X	X
<i>Guazuma ulmifolia</i>	X	X	X	X
<i>Handroanthus ochraceus</i>	X	X	X	X
<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	X	X	X	X
<i>Semialarium mexicanum</i>	X	X	X	X
<i>Spondias mombin</i>	X	X	X	X
<i>Thouinidium decandrum</i>	X		X	X

Índice de Valor de Importancia (IVI)

La dinámica de las especies en el sitio se caracteriza principalmente por la mayor abundancia e importancia de tres especies dominantes (Cuadro 6), correspondientes a *Cochlospermum vitifolium*, *Guazuma ulmifolia* y *Crescentia alata*.

Cuadro 6. Índice de Valor de Importancia según área basal (m²/ha), gremio ecológico y mecanismo de dispersión para distintas especies arbóreas en el sector Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Especie	IVI (%)	Gremio	Dispersión
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	31,47	HE	Anemócora
<i>Guazuma ulmifolia</i>	21,13	HE	Zoocora (aves y mamíferos)
<i>Crescentia alata</i>	15,24	HD	Zoocora (mamíferos)
<i>Spondias purpurea</i>	5,81	HD	Zoocora (mamíferos), hidrócora
<i>Bursera simaruba</i>	5,69	HD	Zoocora (mamíferos, aves)
<i>Lonchocarpus costaricensis</i>	3,50	HE	Anemócora
<i>Semialarium mexicanum</i>	3,15	EP	Anemócora
<i>Spondias mombin</i>	2,55	HD	Zoocora (mamíferos), hidrócora
<i>Genipa americana</i>	2,32	HD	Zoocora (mamíferos)
<i>Gliricidia sepium</i>	2,26	HE	Autócora

Por otro lado, se observa que en comparación con los sitios BS, LAG y SAR (Cuadro 7) hay una diferencia en las especies que presentan mayor IVI y en donde se ha empezado a dar paso especies heliófitas durables y esciófitas (Pacheco, 2019). Siendo así, un indicador de la dinámica de sucesión natural del sitio. Mientras que, en LM, aún siguen dominando en especies pioneras y se registra únicamente *S. mexicanum* como especie esciófita con una abundancia y dominancia mucho menor.

Cuadro 7. Índice de Valor de Importancia para bosques secos secundarios en diferentes estadios de sucesión natural, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

BS		LAG		SAR	
Especie	IVI (%)	Especie	IVI (%)	Especie	IVI (%)
<i>L. speciosa</i>	16,6	<i>L. felipei</i>	10,56	<i>C. vitifolium</i>	8,77
<i>H. courbaril</i>	7,4	<i>C. vitifolium</i>	7,4	<i>H. ochraceus</i>	8,01
<i>C. panamensis</i>	7,11	<i>B. simaruba</i>	6,52	<i>L. felipei</i>	6,72
<i>C. spinosa</i>	5,6	<i>S. purpurea</i>	5,22	<i>S. mombin</i>	5,81
<i>B. simaruba</i>	4,85	<i>H. ochraceus</i>	4,7	<i>L. speciosa</i>	5,69
<i>H. ochraceus</i>	4,77	<i>P. michelianus</i>	4,62	<i>B. simaruba</i>	5,13
<i>C. sylvestris</i>	4,17	<i>A. excelsa</i>	4,58	<i>H. impetiginosus</i>	4,54
<i>G. ulmifolia</i>	3,86	<i>L. speciosa</i>	4,09	<i>A. racemosus</i>	4,36
<i>C. alliodora</i>	2,99	<i>C. alliodora</i>	3,93	<i>S. purpurea</i>	3,57
<i>S. mombin</i>	2,79	<i>C. panamensis</i>	3,85	<i>C. spinosa</i>	3,32

Fuente: Elaboración propia a partir de Pacheco (2019).

Significado de las abreviaciones: *L. speciosa*: *Luehea speciosa*; *H. courbaril*: *Hymenaea courbaril*; *C. panamensis*: *Cordia panamensis*; *C. spinosa*: *Chomelia spinosa*; *B. simaruba*: *Bursera simaruba*; *H. ochraceus*: *Handroanthus ochraceus*; *C. alliodora*: *Cordia alliodora*; *S. mombin*: *Spondias mombin*; *L. felipei*: *Lonchocarpus felipei*; *C. vitifolium*: *Cochlospermum vitifolium*; *P. michelianus*: *Pterocarpus michelianus*; *A. excelsa*: *Aralia excelsa*; *H. impetiginosus*: *Handroanthus impetiginosus*; *A. racemosus*: *Allophylus racemosus*; *S. purpurea*: *Spondias purpurea*.

Número de individuos por hectárea

Existe una mayor abundancia de individuos en las clases diamétricas menores, y se observa dinámica en la clase de 30-35 cm correspondiente a individuos de *Cochlospermum vitifolium*, *Genipa americana* y *Guazuma ulmifolia* (Figura 12).

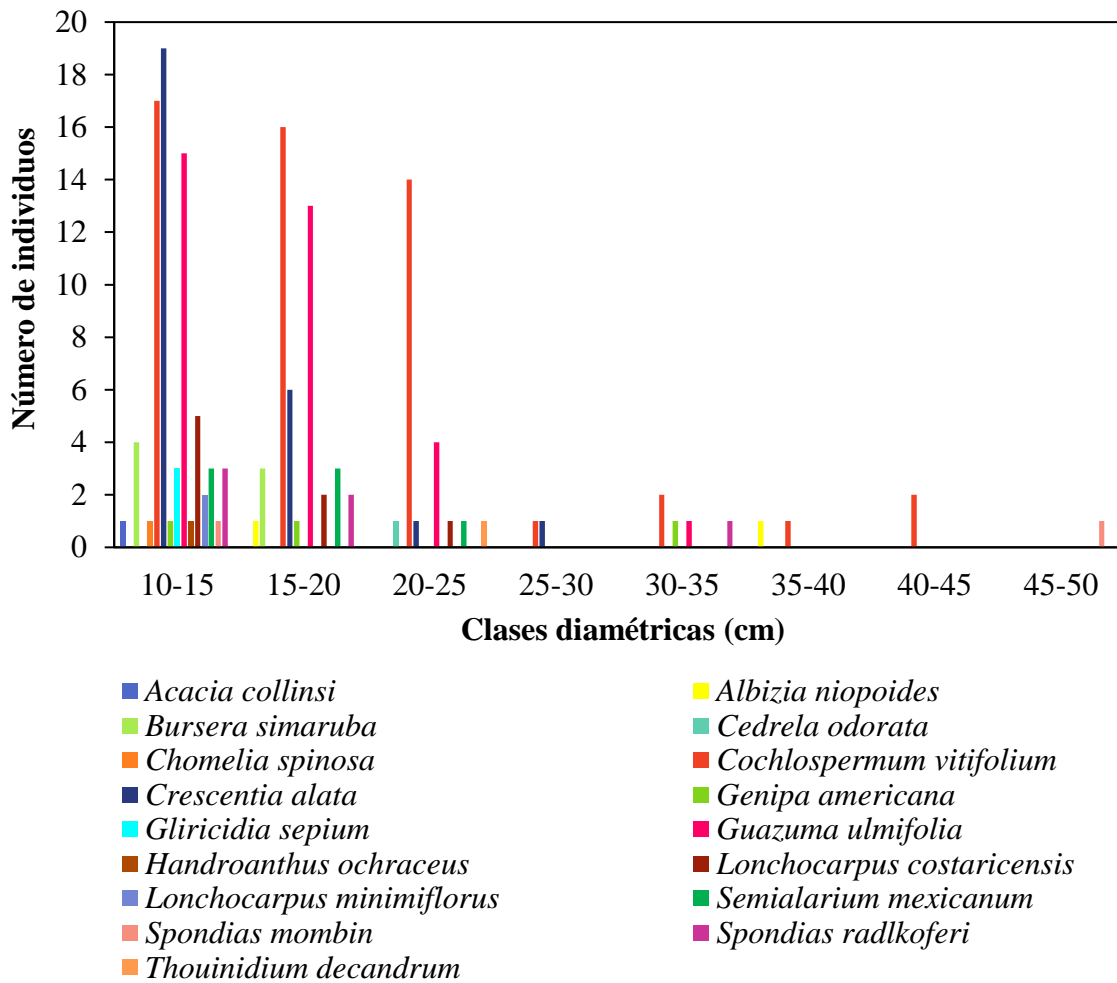


Figura 12. Distribución diamétrica del número de individuos para cada especie presente en el sector Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Por otro lado, la Figura 13 evidencia que en Las Mesas existe un mayor número de especies heliófitas efímeras agrupadas en las primeras clases diamétricas. Cabe señalar también que la única especie esciófita presente se encuentra en las primeras clases diamétricas y no en las últimas como debiera de esperarse según a la sucesión secundaria de los bosques tropicales.

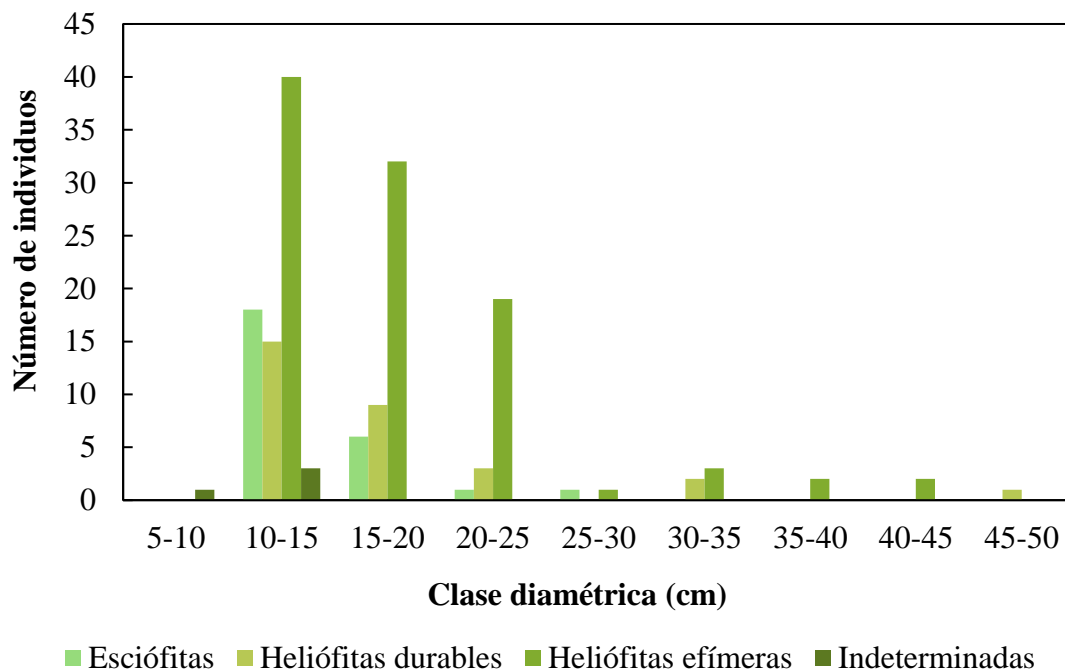


Figura 13. Distribución diamétrica del número de árboles por hectárea por gremio ecológico para el sector Las Mesas, EEFH Guanacaste, Costa Rica, 2022.

5.2.2. Hierbas, arbustos y lianas

A partir de los datos obtenidos a través del Método Braun Blanquet, se registró la existencia de 35 especies, correspondientes a herbáceas, lianas y arbustos. Según los porcentajes de cobertura mostrados en el Cuadro 8, existe una mayor abundancia de gramíneas y lianas y de la ciperácea *Scleria melaleuca* (Rchb.f.ex.Schltdk.Cham.)

Cuadro 8. Suma de valores totales de cobertura de las 10 especies de hierbas, lianas y arbustos más abundantes del total presentes en el sector Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Especie	Promedio	IC del 95%	Límite inferior	Límite superior	Hábito
<i>Hyparrhenia rufa</i>	46,82	6,57	40,25	53,38	Hierba
<i>Scleria melaleuca</i>	43,76	2,44	41,32	46,21	Hierba
<i>Selaginella</i> sp.	36,59	7,13	29,46	43,72	Hierba
<i>Megathyrsus maximus</i>	35,28	6,96	28,32	42,23	Hierba
<i>Calopogonium mucunoides</i>	34,92	3,13	31,79	38,04	Liana
<i>Lasianthaea fruticosa</i>	22,92	8,06	14,86	30,98	Arbusto
<i>Desmodium</i> sp.	21,35	2,27	19,08	23,62	Hierba (tallos rastreros)
<i>Blechnum costaricense</i>	17,50	3,57	13,93	21,07	Hierba
<i>Maranta arundinaceae</i>	12,50	1,72	10,78	14,22	Hierba
<i>Cenchrus</i> sp.	10,73	2,60	8,13	13,32	Hierba

5.3. Variables edáficas

5.3.1. Análisis químico del suelo

Los resultados del suelo se sintetizan en el Cuadro 9 y Cuadro 10. Se observa como los sitios correspondientes a bosques secundarios presentan concentraciones óptimas de calcio y magnesio, así como de cobre, hierro y manganeso; y un pH y acidez en estado óptimo, lo cual también ocurre en la mayor parte del sector Las Mesas.

Se evidencian bajas concentraciones de potasio en sector Las Mesas, lo cual se evidencia también en las relaciones catiónicas, las cuales, presentan valores fuera del rango dado a las altas concentraciones de Ca y Mg en comparación con K. Mientras que, en los sitios de

comparación, las relaciones se encuentran en su rango óptimo.

No se obtuvo información en cuanto a la concentración de fósforo, dado a que, la cantidad de muestra no fue suficiente para determinar la concentración de este nutriente en el suelo.

Cuadro 9. Análisis químico completo para el sector Las Mesas y bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Bajo	Medio	Óptimo	Alto
------	-------	--------	------

Muestra	pH	cmol(+)/L				%		mg/L			
		Acidez	Ca	Mg	K	Sat.Al	P	Zn	Cu	Fe	Mn
P1_20_LM	6,20	0,12	11,33	3,46	0,68	0,80	ND	2,1	9	37	40
P1_30_LM	6,10	0,10	10,76	3,69	0,66	0,70	ND	2,0	11	52	30
P2_20_LM	6,20	0,07	21,22	8,86	0,24	0,20	ND	2,1	10	17	28
P2_30_LM	6,50	0,07	22,83	9,41	0,13	0,20	ND	1,4	10	11	10
P3_20_LM	6,00	0,10	12,69	5,50	0,18	0,50	ND	1,8	11	71	19
P3_30_LM	6,30	0,10	14,37	6,82	0,15	0,50	ND	1,6	10	52	15
P4_20_LM	5,80	0,10	13,35	5,57	0,30	0,50	ND	2,0	9	93	17
P4_40_LM	6,70	0,10	27,73	16,04	0,18	0,20	ND	1,4	8	11	4
P5_20_LM	6,20	0,10	16,90	7,09	0,40	0,40	ND	2,1	10	70	21
P5_40_LM	6,60	0,08	18,58	7,95	0,24	0,30	ND	1,4	8	30	6
P6_20_LM	6,10	0,10	19,99	9,73	0,15	0,30	ND	1,5	8	17	13
P7_20_LM	6,30	0,08	23,32	11,37	0,17	0,20	ND	0,9	11	13	15
P7_30_LM	6,40	0,09	15,93	6,47	0,13	0,40	ND	0,7	10	45	14
P8_20_LM	6,30	0,07	14,70	6,24	0,18	0,30	ND	1,3	12	85	16
P9_20_LM	6,20	0,10	24,88	13,71	0,44	0,30	ND	1,4	8	15	12
P10_20_LM	6,50	0,10	27,42	10,99	0,44	0,30	ND	0,7	14	13	10
P10_40_LM	6,60	0,08	27,78	11,64	0,24	0,20	ND	0,4	13	10	5

Cuadro 9. Análisis químico completo para el sector Las Mesas y bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica (*Continuación*).

Bajo	Medio	Óptimo	Alto
------	-------	--------	------

Muestra	pH	cmol(+)/L			%		mg/L				
		Acidez	Ca	Mg	K	Sat.Al	P	Zn	Cu	Fe	Mn
P11_20_LM	6,00	0,10	10,75	4,08	0,17	0,70	ND	0,9	17	195	25
P11_40_LM	5,60	0,10	8,30	3,16	0,27	0,80	ND	0,3	14	150	15
P12_20_LM	6,00	0,10	11,44	3,79	0,78	0,60	ND	4,4	9	92	33
P13_20_LM	6,00	0,11	17,40	8,80	0,21	0,40	ND	0,8	13	42	16
P13_40_LM	6,50	0,08	21,38	10,38	0,14	0,30	ND	0,5	11	16	7
P14_20_LM	6,10	0,10	13,17	5,37	0,16	0,50	ND	0,7	13	86	21
P14_40_LM	6,00	0,10	13,70	5,80	0,25	0,50	ND	0,3	12	83	16
P15_20_LM	5,90	0,10	11,88	3,52	0,37	0,60	1	2,1	8	171	34
P15_40_LM	6,00	0,09	10,80	3,28	0,35	0,60	1	1,2	7	115	32
P16_20_LM	6,10	0,10	23,76	10,43	0,19	0,30	1	1,4	10	13	15
P17_20_LM	5,70	0,10	9,62	3,58	0,24	0,70	ND	1,4	20	320	20
P17_40_LM	5,90	0,09	8,79	3,35	0,18	0,70	ND	0,8	14	224	18
P18_20_LM	6,40	0,08	16,30	5,97	0,57	0,30	ND	1,7	9	25	38
P18_30_LM	6,10	0,10	14,03	5,84	0,38	0,50	ND	1,3	13	26	30
BS_20	6,30	0,09	13,84	3,75	0,76	0,50	ND	2,1	5	35	20
BS_40	6,10	0,10	11,40	3,34	0,67	0,60	ND	1,5	9	65	21
LAG_20	6,40	0,10	15,29	3,92	0,83	0,50	ND	2,0	6	23	23
LAG_40	6,20	0,10	13,00	4,22	0,86	0,60	ND	2,8	8	30	32
SAR_20	6,50	0,10	13,04	4,04	0,97	0,60	ND	1,4	9	19	19
SAR_40	6,60	0,08	14,55	3,85	1,17	0,40	ND	1,7	4	15	11

Cuadro 10. Relaciones catiónicas del suelo para el sector Las Mesas y tres bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Muestra	Relación			
	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
P1_20_LM	3,27	16,66	5,09	21,75
P1_30_LM	2,92	16,30	5,59	21,89
P2_20_LM	2,40	88,42	36,92	125,33
P2_30_LM	2,43	175,62	72,38	248,00
P3_20_LM	2,31	70,50	30,56	101,06
P3_30_LM	2,11	95,80	45,47	141,27
P4_20_LM	2,40	44,50	18,57	63,07
P4_40_LM	1,73	154,06	89,11	243,17
P5_20_LM	2,38	42,25	17,73	59,98
P5_40_LM	2,34	77,42	33,13	110,54
P6_20_LM	2,05	133,27	64,87	198,13
P7_20_LM	2,05	137,18	66,88	204,06
P7_30_LM	2,46	122,54	49,77	172,31
P8_20_LM	2,36	81,67	34,67	116,33
P9_20_LM	1,81	56,55	31,16	87,70
P10_20_LM	2,49	62,32	24,98	87,30
P10_40_LM	2,39	115,75	48,50	164,25
P11_20_LM	2,63	63,24	24,00	87,24
P11_40_LM	2,63	30,74	11,70	42,44
P12_20_LM	3,02	14,67	4,86	19,53
P13_20_LM	1,98	82,86	41,90	124,76
P13_40_LM	2,06	152,71	74,14	226,86
P14_20_LM	2,45	82,31	33,56	115,88
P14_40_LM	2,36	54,80	23,20	78,00
P15_20_LM	3,38	32,11	9,51	41,62
P15_40_LM	3,29	30,86	9,37	40,23
P16_20_LM	2,28	125,05	54,89	179,95
P17_20_LM	2,69	40,08	14,92	55,00
P17_40_LM	2,62	48,83	18,61	67,44
P18_20_LM	2,73	28,60	10,47	39,07
P18_30_LM	2,40	36,92	15,37	52,29
BS_20	3,69	18,21	4,93	23,14
BS_40	3,41	17,01	4,99	22,00
LAG_20	3,90	18,42	4,72	23,14
LAG_40	3,08	15,12	4,91	20,02
SAR_20	3,23	13,44	4,16	17,61
SAR_40	3,78	12,44	3,29	15,73

Ca/Mg	2-5
Ca/K	5-25
Mg/K	2,5-15
(Ca+Mg)/K	10-40
Óptimo	
Relación rota	

El Cuadro 11 resume los valores correspondientes a la relación C/N para los sitios en estudio.

Cuadro 11. Relación carbono-nitrógeno para el sector Las Mesas y tres bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

SITIO	C/N	% MO
P1 20 LM	12,70	5,81
P1 30 LM	9,60	3,56
P2 20 LM	11,80	3,55
P2 30 LM	11,80	2,20
P4 20 LM	11,10	4,92
P4 40 LM	11,50	1,97
P5 20 LM	11,20	2,73
P5 40 LM	8,90	1,40
P6 20 LM	12,80	3,29
P7 20 LM	12,10	2,95
P7 30 LM	10,20	2,04
P8 20 LM	10,60	2,73
P9 20 LM	13,20	2,83
P10 20 LM	14,40	3,49
P10 40 LM	14,80	2,76
P11 20 LM	11,00	3,78
P11 40 LM	9,50	3,52
P12 20 LM	10,60	4,69
P13 20 LM	11,10	2,55
P13 40 LM	9,00	1,42
P14 20 LM	10,80	2,16
P14 40 LM	11,50	4,10
P15 20 LM	9,60	2,62
P15 40 LM	7,80	1,56
P16 20 LM	15,50	3,99
P17 20 LM	10,50	2,40
P17 40 LM	9,80	1,82
P18 20 LM	12,30	4,73
P18 30 LM	11,80	3,70

Cuadro 11. Relación carbono-nitrógeno para el sector Las Mesas y tres bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

(Continuación).

SITIO	C/N	% MO
BS 20	10,40	5,36
BS 40	9,60	3,45
LAG 20	9,70	2,63
LAG 40	10,40	4,59
SAR 20	10,70	4,90
SAR 40	9,70	3,06

5.3.2. Propiedades físicas

Profundidad efectiva

Conforme a los valores sintetizados en el Cuadro 12, se observa que en cuanto se refiere a la profundidad efectiva promedio, el sitio Las Mesas presenta valores más bajos, lo cual resulta en una diferencia significativa respecto a los sitios en diferentes estadios sucesionales, como se detallará más adelante. En el Anexo 4, se detalla el valor de la profundidad efectiva para cada una de las parcelas.

Cuadro 12. Profundidad efectiva promedio del suelo en el sector Las mesas y tres bosques secundarios en diferentes estadios sucesionales, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Sitios	Profundidad (cm)	IC del 95%	Límite inferior	Límite superior
LM	36,67	4,43	32,23	41,10
BS	49,38	2,49	46,88	51,87
LAG	45,00	2,42	42,58	47,42
SAR	46,56	2,15	44,41	48,71

Resistencia mecánica y densidad aparente

Los valores obtenidos sobre acerca de esta variable pueden encontrarse Anexo 5; ya que como se evidenciará más adelante, fueron variables cuyos resultados no son presentaron diferencias significativas entre sitios.

5.3.3. Análisis estadístico

Análisis de Componentes Principales (ACP)

En el Cuadro 13 se muestran los componentes principales del análisis de las variables físicas y químicas del suelo. En este caso el componente principal 1 y 2 abarcan un total del 58,30% de la varianza de los datos.

Cuadro 13. Componentes principales que explican los mayores porcentajes de varianza.

PC	Autovalor	Varianza (%)
1	7,84	41,27
2	3,23	17,03
3	1,86	9,80
4	1,62	8,53
5	1,31	6,87
6	0,89	4,66
7	0,81	4,29
8	0,43	2,25
9	0,33	1,76
10	0,27	1,42
11	0,19	0,99
12	0,11	0,56
13	0,06	0,32
14	0,03	0,14
15	0,01	0,07
16	0,01	0,04
17	0,00	0,00
18	0,00	0,00
19	0,00	0,00

Este análisis permitió identificar el patrón de comportamiento de las variables en relación con los sitios, siendo las variables $(Ca+Mg)/K$, Mg/K , Ca/K , Ca , Mg y C/N las que más contribuyen al Componente Principal 01, tal como se resume en la Figura 14.

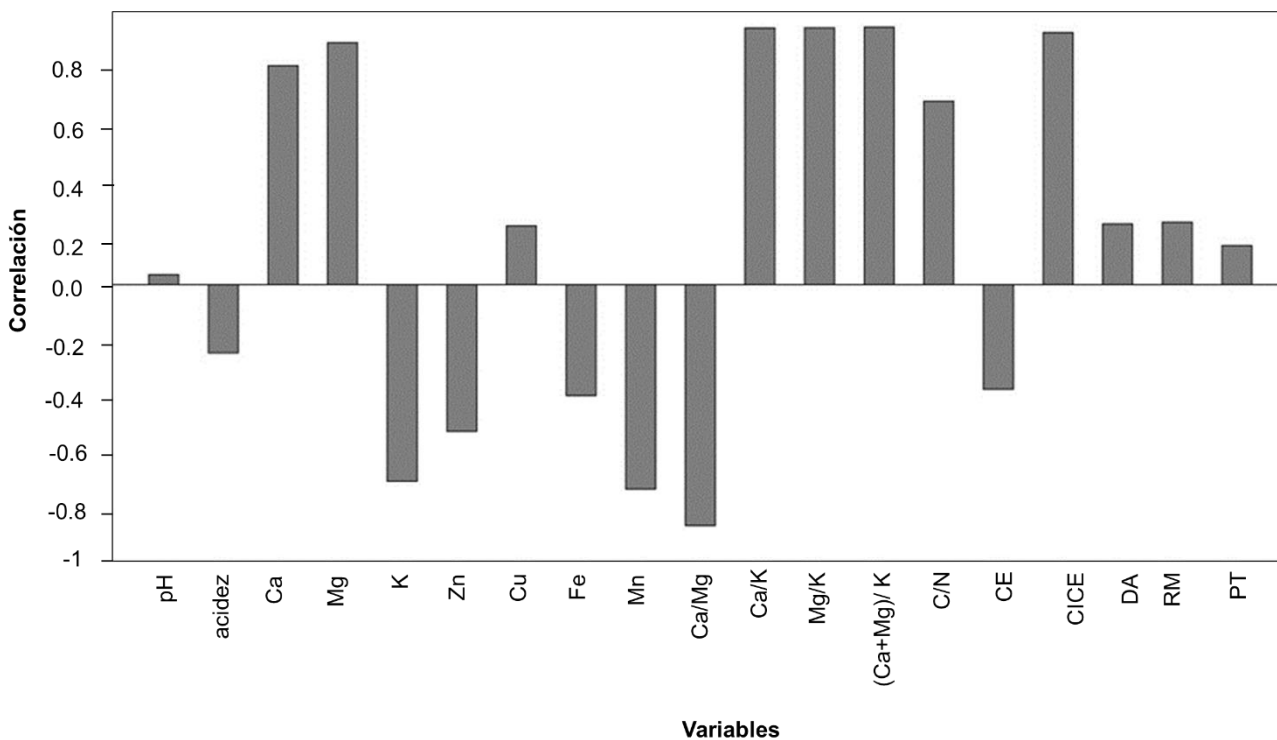


Figura 14. Influencia de las variables en estudio sobre el Componente Principal 01.

Para el caso del Componente Principal 02 las variables pH, profundidad efectiva (PT), y el contenido de Calcio en el suelo tuvieron valores de correlación cercanos a 1 (0,81; 0,52 y 0,48 correspondientemente), siendo las variables que más contribuyeron al porcentaje de variabilidad de los datos explicada por este componente (Figura 15).

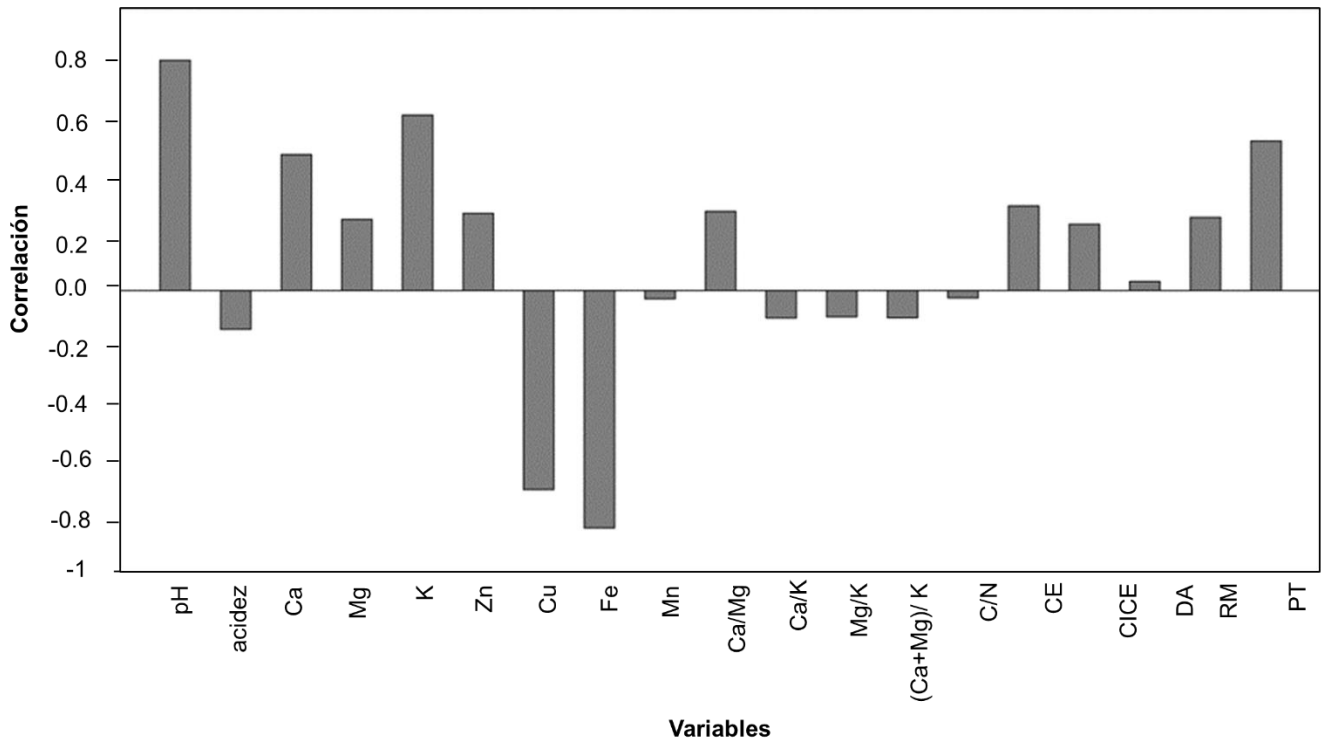


Figura 15. Influencia de las variables en estudio sobre el Componente Principal 02.

En la Figura 16 se muestran las variables edáficas originales partiendo del punto de origen para ambos componentes. Se reafirmó la tendencia observada en la Figura 14 y Figura 15, dado a que entre más paralelos se vuelven los vectores de las variables anteriormente señaladas, más relación tienen estas con el componente principal representado por dicho eje (en este caso, dos componentes).

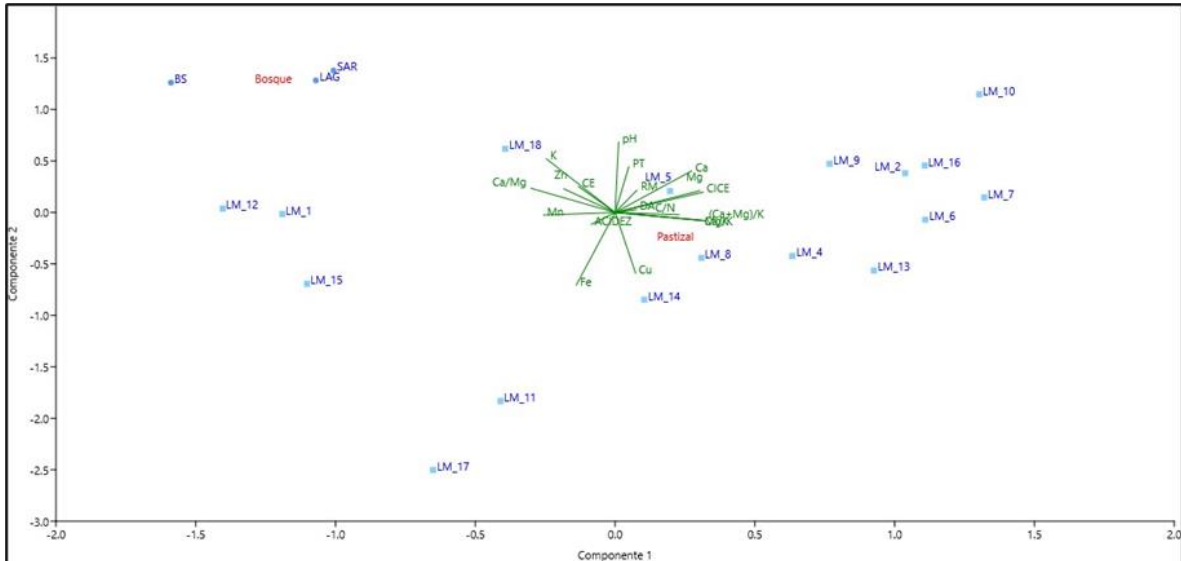


Figura 16. Biplot del análisis de componentes principales para las variables físicas y químicas y su relación con dos grupos de sitios correspondientes a pastizal y bosque en una escala de valores propios*.

*Los valores han sido escalados para obtener un biplot de correlación.

Se evidencia la formación de grupos constituidos por las diferentes parcelas establecidas en el pastizal y la agrupación de los sitios de bosque en la sección superior izquierda del gráfico.

El análisis de componentes principales permitió identificar la relación entre las variables edáficas y los sitios de estudio, no solamente según su cobertura si no también dentro de la misma categoría de cobertura (las diferentes parcelas del sitio LM). Del lado derecho del gráfico biplot, se muestra principalmente el grupo correspondiente al pastizal arbolado y una relación de las variables Ca, Mg, C/N, CICE y densidad aparente; esto principalmente con las parcelas 2, 5, 6, 7, 9, 10 y 16. Se evidenció una relación de las variables C/N, Mg/K, Ca/K y (Ca+Mg)/K con las parcelas 4,8,13. Sin embargo, no todas las parcelas correspondientes a la cobertura de pastizal arbolado presentaron el mismo comportamiento. Las parcelas 11 y 17 se relacionaron con la presencia de Hierro (Fe) en el suelo, variable que presenta una relación opuesta a la profundidad efectiva, siendo indicio de que para los individuos presentes en dichas parcelas, la profundidad efectiva no juega un rol determinante para su establecimiento. Así mismo, las parcelas 1, 12 y 15 mostraron

un agrupamiento cercano a los sitios de bosque, relacionados a su vez con el K, a su vez correlacionado con la CE (según el ángulo agudo que separa sus vectores), la relación Ca/Mg y la presencia de zinc y manganeso.

La Prueba T-Student se determinó que las variables que presentan una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los sitios “Pastizal arbolado” y bosque, correspondientes a los elementos Ca, Mg, K, Cu, las relaciones Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K, C/N, el pH y las propiedades físicas CICE, profundidad efectiva y resistencia mecánica.

En la Figura 17 se muestra el biplot obtenido a partir de la aplicación de un nuevo análisis de componentes principales tomando en cuenta las variables que presentan diferencia significativa entre los sitios y aquellas que más contribuyeron a la varianza presentada por los dos componentes principales obtenidos anteriormente.

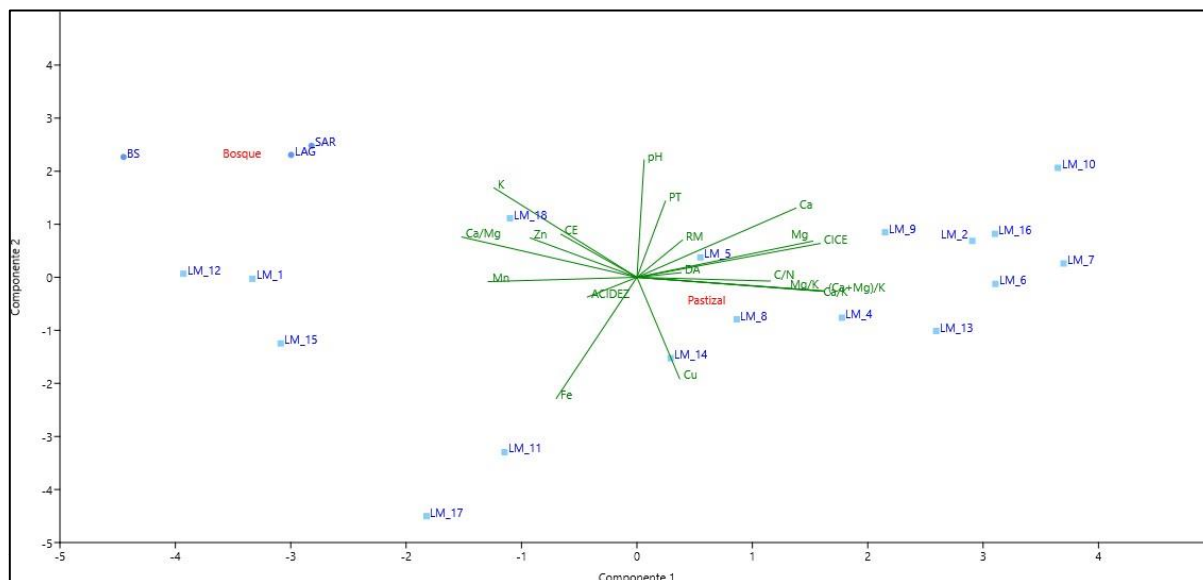


Figura 17. Biplot del análisis de componentes principales para las variables físicas y químicas del suelo, Guanacaste, Costa Rica.

Prueba T-Student para dos medias

A partir de la prueba T-Student, se obtuvo que las variables Ca, Mg, K, Cu, las relaciones de cationes intercambiables (relación de bases), C/N, CICE, profundidad efectiva y el nivel de pH presentaron diferencia significativa para los dos tipos de cobertura (p value $<0,05$).

Además, es importante señalar que para la variable de resistencia mecánica y densidad aparente no mostraron una diferencia significativa entre sitios. Además, tampoco explicaron la variabilidad de datos para LM según el Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado. Por tanto, los valores obtenidos para estas variables se sintetizan respectivamente en el Anexo 3 y Anexo 4.

Cuadro 14. Prueba T-Student para dos medias independientes para las variables de resistencia mecánica y densidad aparente.

Variable	Valor de t	IC del P5%	p-value
RM	0,71	1,16-1,90	0,52
DA	0,26	0,31-0,39	0,79

Análisis de Correspondencia Canónica

Según el ACC realizado para la vegetación arborea y las variables edáficas, existe una relación de las especies arbóreas más abundantes en los sitios de bosque y con mayor IVI con la profundidad efectiva del suelo y las concentraciones de K^+ y Mg^{+2} presentes (Figura. Es decir, la profundidad efectiva podría explicar por qué as especies arbóreas presentes en los sitios de estadios sucesionales más avanzados no se encuentran en el sitio Las Mesas.

Por otro lado, dado a su posición en el gráfico, hay una relación de las variables Ca, $(Ca+Mg)/K$, Ca/K , Mg/K y la relación C/N con las especies de las parcelas establecidas en el pastizal arbolado, estas, en general se distribuyeron en lado derecho del gráfico ($p <0,05$; $p= 0,040$).

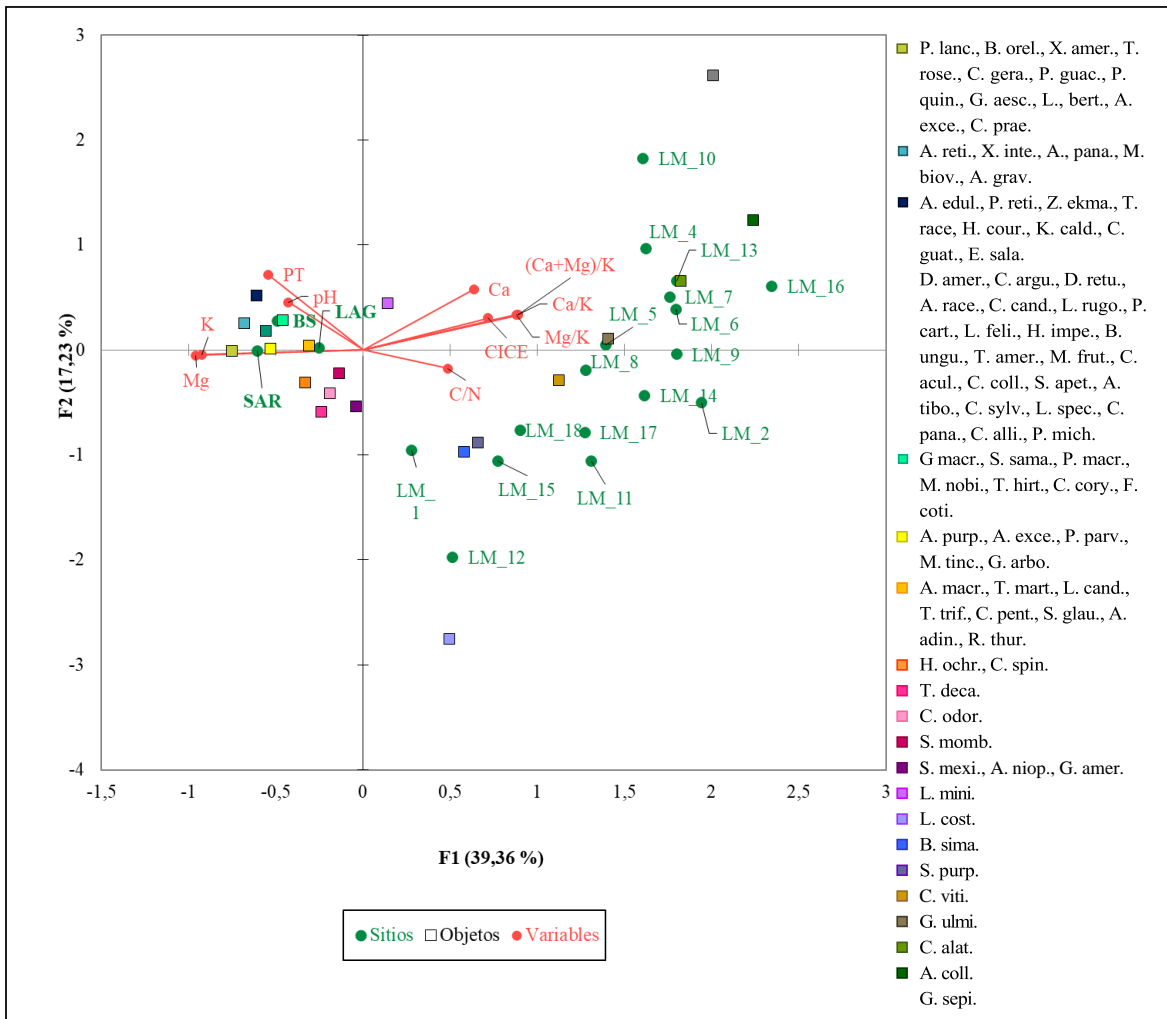


Figura 18. Análisis de correspondencia canónica de las variables edáficas y la vegetación arbórea pastizal arbolado (LM) y tres sitios de Bs-T en diferentes estadios sucesionales, Guanacaste, Costa Rica.

Nota: la lista de abreviaciones con el nombre de la especie que representan se encuentra en el Anexo 8.

En cuanto a la vegetación herbácea, arbustiva y especies de lianas, se determinó ($p < 0,05$; $p = 0,043$) que la relación C/N, $(Ca+Mg)/K$ y Mg/K explican la presencia de las especies gramíneas más abundantes en el sitio, *H. rufa*, *M. maximum* y *S. melaleuca*, esto a partir de su agrupamiento a la derecha del gráfico (Figura 19).

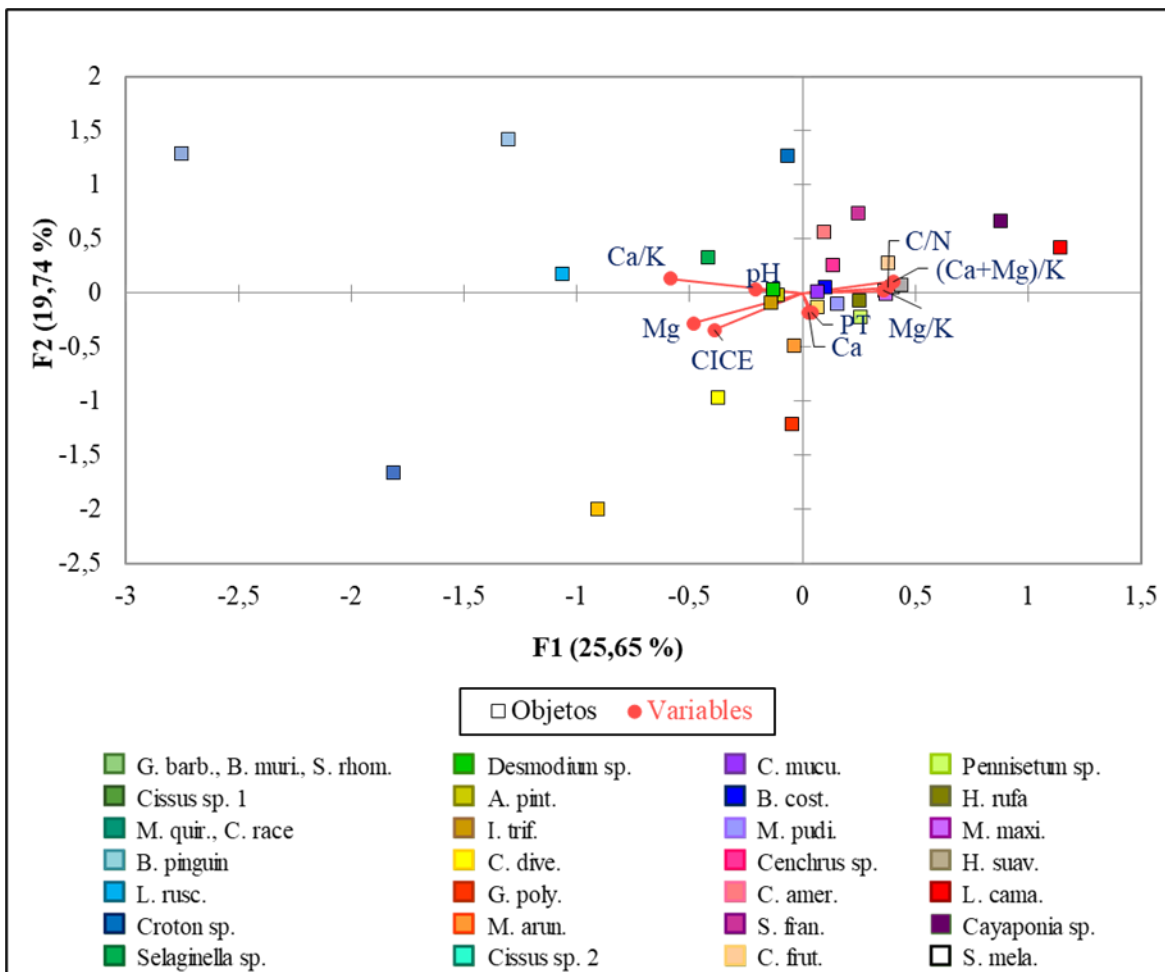


Figura 19. Análisis de correspondencia canónica de las variables edáficas y hierbas, arbustos y lianas presentes en el sector Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Nota: las abreviaciones empleadas para las especies presentadas en la Figura 19 se encuentran en el Anexo 8.

5.4.Fragmentación del paisaje

Las métricas del paisaje obtenidas se sintetizan en el Cuadro 15. Cabe destacar, que existe un mayor número de parches de sitios de no bosque en el área de estudio, sin embargo, hay una mayor cantidad de parches de bosque por cada 100 ha; lo cual, permite inferir de manera general sobre la conectividad y densidad de la cobertura boscosa, a pesar de la cantidad de parches de no bosque presentes en el sitio.

Cuadro 15. Métricas de paisaje correspondientes al área en estudio, Guanacaste, Costa Rica.

Métrica del paisaje	Bosque	No Bosque	Plantación	Pastizal
Número de parches	742	1649	5	563
Densidad de parches (n*/100 ha)	0,00000063100	0,00000140	0,00000000	0,00000048
Mayor área de parche (m ²)	726162550	48919175	38875	33940350
Menor área de parche (m ²)	25	25	25	25
Área media de parche (m ²)	112,94	12,57	0,88	23,20
Longitud de los bordes	6568300,00	5287060,00	1750,00	2663870,00
Índice de superficie del fragmento más grande	61,75	4,16	0,00	2,89
Densidad de borde (m/ha)	0,01	0,00	0,00	0,00
Área general del núcleo (m ²)	805939875,00	181660950,00	36250,00	117730925,00
Tamaño efectivo de la malla (m ²)	449624332,30	2293549,19	1,31	1561385,92

En cuando corresponde a los índices de diversidad de clases de uso del suelo presentes en el paisaje (Cuadro 16) resulta importante recalcar que, conforme Índice de Shannon, el sitio Las Mesas se encuentra inmerso en un paisaje fragmentado. Esto a razón de que el valor para dicho Índice es cercano a uno, indicando diversidad de usos del suelo en el paisaje.

Cuadro 16. Índices de riqueza y uniformidad del paisaje.

Índice de diversidad	Valor
Simpson	0,45
Shannon	0,79
Equidad de Shannon	0,57

5.5. Propuesta de restauración ecológica

En función de los resultados obtenidos y las características del sitio se plantea a la restauración pasiva como la mejor opción. Esto manteniendo la protección del sitio frente a la ocurrencia de incendios y el acceso de ganado.

Sin embargo, Sin embargo, dado al interés de la Estación Experimental Forestal Horizontes en someter el Área de Estudio al Sistema de Pagos Ambientales en modalidad de regeneración natural o bien por conservación de bosque; se plantea la aplicación de la técnica de nucleación. La técnica se realizará no con el fin de superar las limitantes edáficas ya mencionadas a lo largo del presente trabajo, sino más bien, con la finalidad de incrementar la diversidad del sitio en cuanto corresponde a composición y estructura.

5.5.1. Plantación de enriquecimiento mediante la técnica de nucleación

Se plantea el uso de la técnica de nucleación en islas de regeneración ya existentes en el sitio recurriendo así, a la plantación de árboles con árboles nodrizas (especies pioneras ya establecidas en el sitio) permitiéndose ahorrar lo que sería una primera fase para el establecimiento de especie heliófitas efímeras y aprovechando las condiciones de micrositio generadas por estos individuos.

Se obtuvo un total de 27 islas de regeneración del total de islas o grupos de árboles existentes en el sitio, tomando en consideración el área de cada uno y la distancia existente entre ellos, como se muestra en la Figura 20.

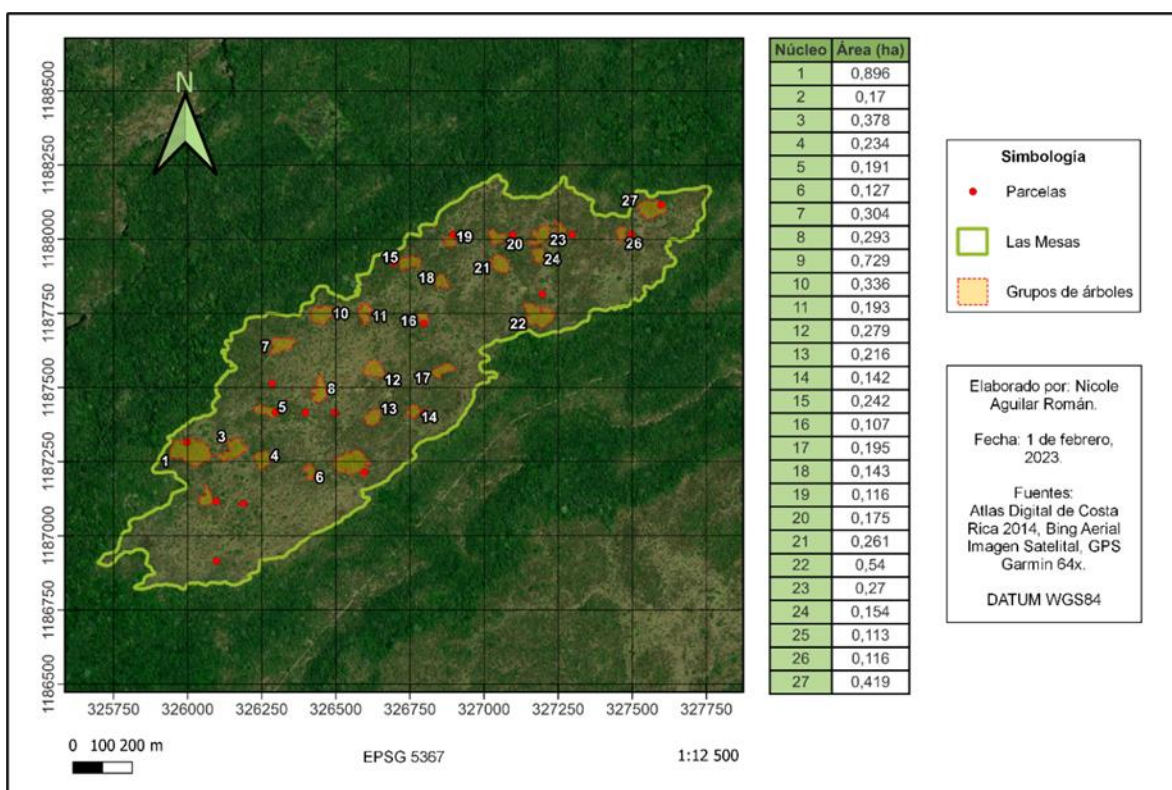


Figura 20. Islas de vegetación arborea existentes en el sitio Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Cada uno de los núcleos de vegetación estará compuesto por un árbol nodriza de 6 m de copa, que proporcione un área de sombra de 28 m². se define el diseño para realizar la plantación (Figura 21) tomando el árbol nodriza como centro del primer círculo de plántulas, con un radio de 2,5 m y conformado por ocho individuos de tres especies esciófitas. El segundo círculo también tomará como centro al árbol nodriza y contará con un radio de 7 m, ocupado por un total de 12 individuos de cuatro especies heliófitas durables, teniendo en términos generales un total de 636 individuos.

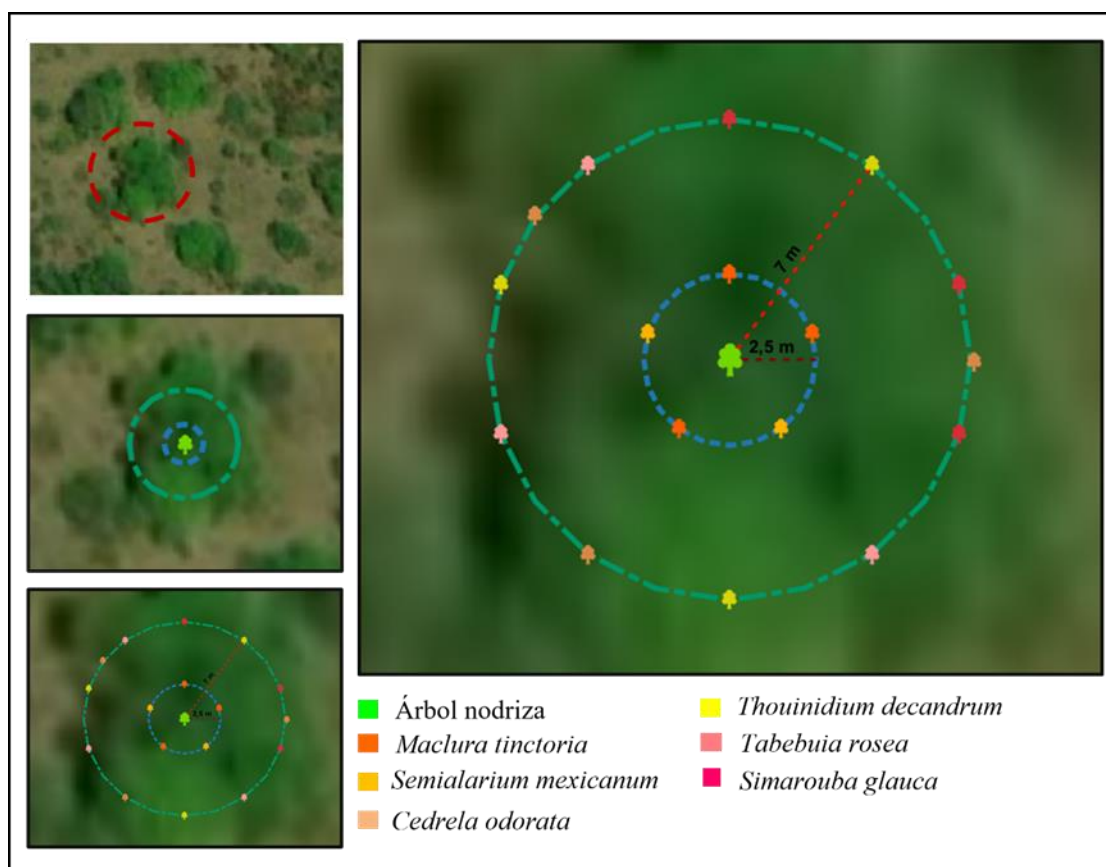


Figura 21. Diseño de plantación bajo árboles nodrizas en islas de vegetación preexistentes en el sitio Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Como especies esciófitas se proponen *Maclura tinctoria* y *Semialarium mexicanum*, mientras que como heliófitas durables se seleccionó *Thouinidium decandrum* (Bonpl.) Radlk., *Tabebuia rosea*, *Cedrela odorata* y *Simarouba glauca* (DC.)

En términos generales se plantea se plantea el desarrollo de actividades como ahoyado,

trazado y estaquillado, trasplante, mantenimiento y monitoreo. El cronograma de las actividades planteadas para su desarrollo durante los primeros tres años se presenta en el Cuadro 17, Cuadro 18 y Cuadro 19.

Cuadro 17. Actividades por desarrollar en el año 1, como parte del enriquecimiento de la comunidad arborea de Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Actividad	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Trazado y ahoyado	X											
Limpieza (rodajea)	X											
Plantación	X											
Mantenimiento		X			X		X					X
Replantación												
Monitoreo		X			X		X			X		

Cuadro 18. Actividades por desarrollar en el año 2, como parte del enriquecimiento de la comunidad arborea de Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Actividad	Jun	Jul.	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic.	Ene	Feb	Mar	Abr	May

Mantenimiento		X			X		X					X
Replante	X											
Monitoreo	X				X		X			X		

Cuadro 19. Actividades por desarrollar en el año 3, como parte del enriquecimiento de la comunidad arborea de Las Mesas, EEFH, Guanacaste, Costa Rica.

Actividad	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Mantenimiento		X				X				X		
Replante	X											
Monitoreo		X				X				X		

Costos

A continuación, se presenta un resumen de los costos totales por el desarrollo de actividades durante los primeros tres años.

Cuadro 20. Costo total del enriquecimiento de la comunidad arborea del sitio Las Mesas para un período de 3 años.

Rubro	Costo	Costo por árbol
Plántulas (plantación y replante)	¢6 706 245	¢3 500
Producción de estacas	¢69 394	¢36
Ahoyado y limpieza	¢501 905	¢262
Transporte de plántulas al sitio	¢3 222	¢2
Plantación y replante	¢558 606	¢292
Monitoreo	¢5 793 666	¢3 024
Mantenimiento (limpieza)	¢2 824 412	¢1 474
Equipo e instrumentos	¢515 765	¢269
Supervisión	¢6 446 565	¢3 364
Subtotal	¢23 419 779	¢12 223
Imprevistos (5%)	¢1 170 989	¢611
Total	¢24 590 768	¢25 057

6. DISCUSIÓN

6.1. Historial de uso del suelo

A partir de la determinación del uso histórico del suelo, se tiene que el sitio Las Mesas ha sido reflejo de la conversión de los bosques secos tropicales a sitios dedicados a la agricultura, así como la ocurrencia de incendios provocados, lo cual, históricamente ha constituido una de las principales amenazas a este ecosistema (Corona et al., 2016; Dupin et al., 2018; Silva de Miranda et al., 2018). En Costa Rica, el crecimiento productivo de la agricultura y ganadería, a partir de 1950, así como la expansión territorial de pastizales en el período 1960-1980 impulsado también por cambios en la estructura productiva y política agraria, dieron lugar a un aumento en la tasa de deforestación del bosque seco y su degradación, principalmente derivada de la ocurrencia de incendios (Murphy & Lugo, 1986; Chazdon, 2003; Castillo et al., 2013; Umaña & Chaves, 2014; Godinot et al., 2020; Ocón et al., 2021).

Dado a su constante y recurrente ocurrencia, los incendios en el sitio Las Mesas, de manera similar a otros sitios de bosque seco tanto en Costa Rica como en otros países, se sugiere que el fuego ha podido tener un efecto importante en la dinámica sucesional de estos sitios, así como incidir en la riqueza y composición de especies (Kennard et al., 2002; Middleton et al., 2006; Vargas & Campos, 2020; Neeraja et al., 2021). Además, estos eventos la abundancia y diversidad de especies en los bosques (Barlow et al., 2016; Condé et al., 2019; De Andrade et al., 2020), al influir en procesos demográficos como la supervivencia, la floración, la dispersión de semillas y el reclutamiento (De Luis et al., 2005; Verma et al., 2017; Prestes et al., 2020). Por ejemplo, únicamente aquellas con alta capacidad de rebrote, cortezas gruesas y germinación promovida por la ocurrencia de incendios se ven favorecidas, (Otterstrom et al., 2006; Bond & Wilgen, 2012; Clarke et al., 2013), tomando en consideración también que los incendios afectan de forma severa el banco de semillas del suelo (Kennard, 2000). Por otro lado, la presencia y abundancia de especies gramíneas

invasoras, como *H. rufa*, hace que, en el caso de Guanacaste, los sitios sean más vulnerables ante la ocurrencia de incendios, pues, estas especies son resilientes frente a estos eventos, sino que también y actúan como un combustible natural que, hace que los bosques secos sean más susceptibles a los incendios y sus efectos (Verma et al., 2017). Además, a pesar de que los incendios al ocurrir las primeras veces afectan principalmente a individuos de diámetros pequeños, al ocurrir de forma cada vez más intensa y reiterada provocan también la pérdida de individuos de diámetros mayores (Hartung et al., 2021) lo cual, no solamente altera la composición de la comunidad vegetal sino, justifica la pérdida de la mayor parte de “islas de regeneración” en el sitio Las Mesas, principalmente en el período 1974-1989 y 2005-2012.

Finalmente, al desaparecer dichas islas de regeneración y al verse limitado el proceso de sucesión natural por la ocurrencia de incendios, en el sitio no se ha logrado llegar a una distribución más homogénea del componente arbóreo ni al cierre de copas propio de un estadio de sucesión más avanzado y que propicia la supresión de los pastos e incendios (Pennington et al., 2018). Lo anterior, permite sugerir, con base al historial de uso del suelo, caracterizado predominantemente por la ocurrencia de incendios y a su efecto en la comunidad vegetal; el sitio Las Mesas, presenta características que son más propias de una sabana seca que de un bosque seco tropical en sucesión intermedia (12 años después del último disturbio).

6.2. Diagnóstico de la vegetación

6.2.1. Vegetación arbórea

Índice de vegetación

Conforme a Powers et al. (2009) el índice aumenta conforme la edad de los sitios en diferentes estadios de sucesión y esta a su vez, se relaciona directamente con la composición de especies. Sin embargo, el comportamiento en el sector LM no es el esperado para aquellos sitios, que, debido a su edad, deberían encontrarse en un estadio de sucesión temprano-intermedio, para los cuales se han reportado valores de 3,0-3,3

respectivamente (Spittler, 2001, Reyes, 2012, Pacheco, 2019); siendo así que, el valor de 2,04 de Las Mesas indica que es un sitio con baja diversidad (Golicher, 2003).

Índice de Jaccard

Conforme a lo reportado por Pacheco (2019) y Reyes (2012) el factor determinante el agrupamiento entre los sitios LAG y SAR corresponde a la edad de los sitios y también, al hecho de que tanto LAG como SAR comparten un historial de uso similar, siendo sitios regenerados luego a la ocurrencia de incendios forestales en los años noventa, lo cual ha favorecido el establecimiento y dominancia de especies pioneras como *C. vitifolium*, especies dominantes también en el sitio LM (Cuadro 8). Además, otras especies similares como *G. ulmifolia* y *Lochocarpus minimiflorus* Donn. Sm. Es importante señalar que a pesar de que los valores obtenidos para el coeficiente de Jaccard no son valores cercanos a 1, por lo que no existe una fuerte similitud presencia y ausencia de especies entre LM y los otros tres sitios en recuperación, es importante señalar que LM presenta una mayor similitud de especies con LAG.

Índice de Valor de Importancia (IVI)

Según lo descrito por Ewel (1977) y Spittler (2001), el sitio Las Mesas coincide con los estadios sucesionales de sitios que han iniciado el proceso de regeneración posterior a la ocurrencia de incendios. Esto, dado a que en el sitio existe dominancia de especies pioneras, caducifolias como *C. alata* y *C. vitifolium*, *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. dispersadas por viento y con individuos de ejes múltiples (un total de seis individuos con un máximo de cinco ejes). Sin embargo, es importante mencionar que la distribución espacial de la cobertura arborea en el sitio es irregular, y consiste principalmente en núcleos de vegetación, en los cuales es posible definir tres estratos (arbóreo, arbustivo y dominante). El estrato arbóreo es constituido de forma irregular por individuos de especies heliófitas efímeras y durables, cuyas alturas van de los 3 a los 13 m como máximo; mientras que, el estrato herbáceo está constituido de forma dominante por *H. rufa*.

Por otro lado, para el tiempo transcurrido a partir del momento en que ocurrió el último disturbio en el sitio (hace 10 años), que este debiera encontrarse en su tercera fase sucesional, como parte de la cual, se esperaría un cierre del dosel y la eliminación total de los pastos en el sitio, lo cual no ha ocurrido; así como el establecimiento de especies heliófitas durables y esciófitas, siendo una fase de rápido aumento de la diversidad (Spittler, 2001). Sin embargo, se registraron especies heliófitas durables y la esciófita parcial *Semialarium mexicanum* (Miers) Mennega (R. Quesada, comunicación personal, 9 de octubre, 2022).

El estado de la diversidad y parte de la dinámica del sitio LM concuerda con lo esperado para los bosques secos tropicales afectados por disturbios antropogénicos, principalmente por la ocurrencia incendios forestales intensos y de forma recurrente (Verma et al., 2017; Neeraja et al., 2021). Estos eventos, al ser una perturbación crónica (en el pasado) pueden reconocerse como uno de los principales desencadenantes de la pérdida de diversidad y riqueza de especies. Lo anterior debido a la reducción de la densidad de árboles grandes, que deriva en cambios en la densidad de individuos y modifica, por tanto, las condiciones ambientales (Montgomery & Chazdon, 2001, 2002; Ludwig et al., 2005, Ceccon et al., 2006), aumentando así el estrés abiótico y filtrando finalmente a algunas especies específicas (Jara et al., 2021).

Número de individuos por hectárea

El sitio LM presenta el comportamiento típico de “J invertida” (Figura 16) que la comunidad vegetal se encuentra en un proceso de desarrollo orientado hacia etapas de crecimiento y productividad más avanzados (Arruda, 2011).

Se reportan de 200 a 1200 árboles por hectárea, durante los 6-15 años (Reyes, 2012) sin embargo, el sitio LM tan sólo presenta 76 árboles por hectárea. Lo cual, permite reafirmar que el proceso de regeneración no es unidireccional ni se encuentra determinado únicamente por la edad de los sitios en comparación sino también por condiciones propias de cada sitio, en este caso, no solamente un historial de uso similar, si no, que permite inferir sobre la influencia de otros factores como las características edáficas del sitio (Vieira & Scariot, 2006; Almazán et al., 2012; Poorter et al., 2019).

Cochlospermum vitifolium se caracteriza por ser una especie dominante en comunidades sucesionales tempranas en bosques secos, así como en sitios abiertos y bordes, resistente a condiciones de radiación solar directa y tolerante a prolongados períodos de sequía (Johnson, 2014). Además, desarrolla lignotubérculos que juegan un rol importante en la capacidad de recuperación de la especie frente a herbivoría, daños mecánicos e incendios e incide en su capacidad de rebrote (Rocha & Gutiérrez, 2019).

En cuanto a *Crescentia alata*, es importante mencionar que puede crecer de forma adecuada en suelos pedregosos como aquellos presentes en las parcelas 5, 6 y 8. Además, se dispersa mediante diferentes agentes, lo que facilita la llegada de esta especie a diferentes hábitats (Olivares et al., 2018). *Guazuma ulmifolia* al igual que las otras dos especies con mayor abundancia, se caracteriza por ser una especie pionera, colonizadora de sitios recientemente perturbados, y presente en bosques secos y pasturas, aunque también es posible encontrarle en bosques riparios y zonas húmedas (Orwa et al., 2009).

Es importante recalcar que se ha mostrado una correlación positiva entre la ocurrencia crónica de disturbios como incendios forestales con la riqueza del bosque seco secundario en los primeros estadios de sucesión (Gillespie et al., 2000, Neeraja, 2021). En el caso de fragmentos de bosque seco en Panamá, afectados por la ocurrencia reiterada de incendios, se evidenció la presencia y dominancia de especies pioneras y heliófitas efímeras (Figura 17) como *Guazuma ulmifolia*, además, el número de especies varió de 17 a 24 para cada uno de los fragmentos, lo cual coincide con la riqueza del sitio LM, con 17 especies en total (Griscom et al., 2011). Además, la ocurrencia constante de incendios (tanto antes como después del abandono del sitio en regeneración) disminuye la riqueza de especies y cambian la composición de estas favoreciendo a las especies tolerantes al fuego y a especies capaces de rebrotar (Barlow et al., 2016, Condé et al. 2019). De manera similar, aunque se genere un aumento en la densidad de especies posterior a la ocurrencia de incendios, los individuos se caracterizan por presentar menor tamaño y varios ejes (al haber rebrotado) (Neeraja, 2021), como se evidenció para el sitio LM, con la mayor parte

de individuos agrupados en las clases diamétricas de menor tamaño y un 33,54% del total de los individuos con dos o más ejes.

Conforme a las características de la vegetación del sitio, se determina que el sitio LM cumple con los rasgos característicos de un bosque seco tropical en sucesión temprana en un primer estadio de sucesión. Esto, en cuanto se refiere a la presencia y desarrollo de individuos en “islas de regeneración” y la mayor abundancia de individuos de 5-20 cm de diámetro, de acuerdo a lo descrito por Spittler (2001), Reyes (2012) y Pacheco (2019). Aunque, en términos de altura, el 74% de individuos sobrepasa los valores esperados para ese estadio, podría tratarse de árboles remanentes existentes previo al 2012, según las tasas de crecimiento diamétrico y los valores de diámetro reportados por Reyes para un sitio de historial de uso y edad similar (2012).

Por otro lado, es importante señalar el rol que pudo haber jugado la vegetación remanente para el proceso de regeneración en el sitio y para el arribo de nuevas especies. En condiciones de estrés sucesional, derivadas de la disponibilidad del recurso hídrico en la época seca o como las limitantes de luz en la época lluviosa (Lohbeck et al., 2015), la sombra generada por las especies pioneras permite generar condiciones micro climáticas más favorables como el incremento en la humedad del suelo, a través de la reducción de la temperatura del aire y del suelo y un aumento en la humedad relativa de los micrositios (Derroire et al., 2016).

Además, es importante mencionar que en diferentes parcelas (1,11, 12 y 18) donde existía una mayor cobertura arborea y hojarasca lo cual a su vez genera una reducción de la evapotranspiración del suelo y a su vez, genera un aporte de materia orgánica al mismo (Schilling et al., 2016).

6.2.2. Hierbas, lianas y arbustos

En el sitio existe abundancia predominante de especies gramíneas, lo cual corresponde a una estructura vertical poco compleja y es un indicio de una fase temprana de sucesión ecológica (Espinosa et al., 2020). Además, la mayor parte de la cobertura se trata de especies de la familia Fabaceae, lo cual es consistente con otros resultados obtenidos para sitios de bosque seco en los mismos estadios en Latinoamérica (Flores & Bautista, 2012, Silva et al., 2018).

A diferencia de las especies de plantas arbóreas, la germinación y establecimiento de plantas herbáceas y arbustos, no se ve limitada tras la ocurrencia de perturbaciones como la deforestación, la conversión del bosque a pastizales y la ocurrencia constante de incendios (Ferreira & Mascia, 2017). El reclutamiento de estas ocurre a partir del banco de semillas que persiste en el suelo (Guariguata, 2000, Almazán et al., 2012) y componen la etapa herbácea/arbustiva del proceso de sucesión natural para este tipo de bosques (Finegan, 1996).

La dominancia de *Hyparrhenia rufa* y gramíneas exóticas como *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (pasto guinea) y *Cenchrus* sp., tienen un efecto negativo en la regeneración de plantas leñosas, ya que, gracias a la alta capacidad de latencia de sus semillas, algunas especies herbáceas pueden permanecer dominantes en el banco de semillas del suelo por mucho tiempo después del inicio de la sucesión (Maza-Villalobos et al., 2011). Además, al establecerse las especies herbáceas, se reduce o elimina la capacidad de establecimiento de estas especies leñosas dado a la competencia por los recursos (Derroire, 2016).

Hyparrhenia rufa es una especie de pasto que ha adquirido un comportamiento invasivo en el país (Chacón & Saborio, 2012) así como en México y Suramérica (Villaseñor & Espinosa, 2014, Oviedo et al., 2012), ya que produce una cantidad abundante de semillas, dispersadas con facilidad. Además, se propaga sin mayor problema posterior a la ocurrencia de un período de quema (Stern et al., 2002). Es una hierba agresiva tolerante a

condiciones de sequía, fuego y pastoreo que se adapta con facilidad a diferentes tipos de suelo (PNUD México, 2019), siendo su crecimiento óptimo en suelos vertisoles. Tolera el mal drenaje y condiciones de encharcamiento y tiene una alta capacidad de rebrote después de la ocurrencia de incendios (FAO, 2014). Todas estas características le permiten desplazar las especies nativas y suprimir los procesos de sucesión natural.

Por otro lado, *Megathyrsus maximus* es una especie tolerable a la sequía, puede presentar buen crecimiento bajo la sombra de árboles y desarrolla raíces largas y fibrosas. Es importante señalar y que adquiere el hábito de planta rastrera al tener reproducción mediante estolones y rizomas (Rhodes et al., 2021), lo cual, le permite a la planta establecerse cuando las condiciones abióticas pueden limitar la germinación de semillas, la cual se ve favorecida por la ocurrencia de incendios (Marshall et al., 2012, Ellsworth et al., 2013; Rhodes et al., 2022). La especie presenta fácil adaptación a suelos arcillosos y con limitación de nutrientes, (Mantoani & Torezan, 2016). Dado a estas características y al ser una especie originaria de África e introducida a América, se ha convertido en una especie invasora, que compite y puede reemplazar especies nativas (Ho et al., 2016), trayendo consigo una alteración en la estructura vegetal y en la riqueza de especies, la alteración de sucesión (Dias & Torezan, 2020) y un impacto negativo en la reproducción, crecimiento, supervivencia y establecimiento de especies arbóreas y cactáceas (Rojas-Sandoval et al., 2016).

En cuanto corresponde a la especie *Lasianthaea fruticosa* (L.) K. M. Becker., cabe destacar que tiene un alto requerimiento de luz para su establecimiento y desarrollo y crece bien en suelos con poco contenido de humedad (Rodríguez et al., 2020). Mientras que *Maranta arundinacea* L. se caracteriza por crecer de forma óptima en sitios con exposición a la luz, suelos bien drenados y no compactados (Valdés Restrepo et al., 2010; Ciarfella et al., 2013)

En cuanto corresponde a las plantas con hábito de lianas o bejucos con mayor cobertura y presencia en el sitio se encuentra *Desmodium* sp. y *Calopogonium mucunoides* Desv. Las plantas del género *Desmodium* son características de sitios secos y perturbados, se

encuentran en pasturas y en el borde caminos y bosques, tolera condiciones de sequía, , crece bien en varios tipos de suelo y puede reproducirse también de forma asexual mediante estolones (Yue et al., 2010). Por otro lado, *C. mucunoides* es tolerante a condiciones de sequía, y a diversos tipos de suelo, siendo las texturas de tipo arcillosa las óptimas para su crecimiento. Se adapta bien a suelos que presentan encharcamientos prolongados y sombra moderada (Acevedo, 2012), crece bien al lado de especies gramíneas altas y erectas, puede restablecerse fácilmente posterior a la ocurrencia de incendios, gracias a la resistencia de sus semillas (Rojas & Acevedo, 2022). Crece rápidamente y genera una cobertura densa, incluso debajo de los árboles y al lado de gramíneas altas y erecta, pudiendo suprimir otras hierbas (Heuzé et al., 2016) y principalmente se le encuentra en áreas perturbadas, (Coke et al., 2005).

A raíz del diagnóstico de la vegetación presente en el sitio y tomando también en consideración el historial de uso del suelo, podría decirse que Las Mesas en la totalidad de su área corresponde, no necesariamente a un bosque seco tropical secundario que, por edad, desde el último disturbio, debería estar en un estadio de sucesión intermedio, sino más bien a una sabana. Esto señalando que no sería la primera vez en la que se hace referencia de este tipo de ecosistema en el país, ya que se han realizado estudios en Santa Rosa de Guanacaste y más recientemente en la Zona Sur (Artavia, 2011, Vergas, 2011). Las sabanas en la zona de Guanacaste pudieron haberse originado por acciones antrópicas y factores naturales, como la deforestación, la introducción y establecimiento de pastos, así como la ocurrencia de incendios. Estos eventos, actúan como, filtros importantes para la formación de nuevas comunidades vegetales, favoreciendo la selección y establecimiento de especies con adaptaciones a su ocurrencia (Vargas, 1981) y a las condiciones edáficas específicas de los sitios (Miranda et al., 2003) siendo, por ejemplo, la vegetación de sabana, la óptima para los suelos vertisoles (Kovda, 2020).

Estos ecosistemas de zonas secas corresponden a comunidades vegetales mixtas de pastos, los cuales tienen una cobertura dominante, y vegetación leñosa, comprendiendo arbustos y árboles (Scholes & Archer, 1997; Chapin et al., 2011). La existencia del componente leñoso no es determinada de forma exclusiva por el clima (Sankaran et al., 2005), sino

también, resultante de interacciones sinérgicas o individuales de disturbios como fuego, sequía y pastoreo, las cuales hacen que se encuentren árboles y arbustos restringidos a ciertas zonas sin que puedan expandirse y desarrollarse en bosques secos tropicales (Sankara et al., 2005; Vargas- Ulate, 2011).

Por otro lado, es importante señalar que los patrones de disturbio en el sitio Las Mesas son similares a los ocurridos en la vegetación de sabana del Parque Nacional Santa Rosa, en donde, después de incendios y la eliminación del pastoreo se evidenció la recuperación de la vegetación hacia la composición característica de un bosque seco tropical en forma de parches boscosos que poco a poco se iban expandiendo en el sitio, sin embargo, la ocurrencia de incendios provocó un retroceso en el proceso de regeneración, favoreciendo la presencia y mayor abundancia de especies como *Cochlospermum vitifolium*, *Crescentia alata*, *Spondias mombin*, *Gliricidia sepium* y *Chomelia spinosa* (Vargas-Ulate, 2011).

6.3. Variables edáficas

Los resultados derivados del análisis químico permiten inferir que la fertilidad del suelo en el sitio LM, no correspondería a una limitante importante para el desarrollo y establecimiento de plantas en el sitio. Dado a que los vertisoles que son suelos fértiles y ricos en minerales, con altos contenidos de Mg y Ca, se considera que las limitantes de este tipo de suelo se derivan principalmente de sus propiedades físicas (Chaves & Chavarría, 2017; Alvarado et al., 2014; INTA, 2015). Conforme a los resultados del análisis químico, resulta fundamental mencionar el efecto que pueden tener las altas concentraciones de calcio en el suelo, así como los niveles bajos de potasio; ambas, condiciones presentes en LM y que se sugiere según los resultados del ACC, limitan el establecimiento de especies arbóreas.

El magnesio, es requerido para el desarrollo del metabolismo secundario, como lo es la producción de compuestos para la defensa contra enfermedades (Huber & Jones, 2013). Este nutriente, juega un rol fundamental para la estructura del suelo, debido a que se encuentra en forma de catión (Mg^{+2}), si existe una abundancia de este, es probable que las cargas positivas se adhieran a las partículas del suelo, y por tanto que éstas

queden unidas fuertemente entre sí, quedando menos espacio disponible para el movimiento del oxígeno, haciendo que, a su vez, la presencia de bacterias benéficas y la habilidad de las plantas para sobrevivir a condiciones de estrés disminuya (Smith et al., 2015). Del mismo modo, los niveles altos de Mg^{+2} derivan en malformaciones del sistema radical y reducción de la biomasa de raíces, lo cual incide en la absorción de nutrientes como fósforo, potasio, hierro y manganeso, y por tanto, en el metabolismo primario y secundario de las plantas (Qadir et al., 2018).

Además, la relación de las concentraciones de cationes en la solución del suelo permite inferir sobre la salud de este y el estado de los nutrientes, principalmente, sobre la concentración de cationes en la zona de las raíces (Aguirre, 2019). En este caso, se evidencia el posible efecto de los altos niveles de magnesio sobre la concentración de potasio presente, pese a ello, se muestra que existe una relación entre las especies presentes en Las Mesas con la concentración de K^+ .

El potasio, es un nutriente importante para el desarrollo de la fotosíntesis, la activación de enzimas en procesos metabólicos y la osmorregulación, por lo que en general, juega un rol fundamental en el crecimiento de las plantas (Wang et al., 2013, Rawat et al., 2016). Además, los contenidos óptimos de potasio en el suelo contribuyen a la respuesta y resistencia de la planta ante condiciones de sequía y estrés hídrico, mediante el control de la apertura estomática, la elongación de raíces y la acumulación de agua en los tejidos (Hassan et al., 2017). A raíz de ello, las bajas concentraciones de K en el suelo generan estrés abiótico para la planta, provocando que ocurran cambios en la morfología de las raíces, crecimiento retardado de raíces, resultando así en la disminución del crecimiento de las plantas (Romheld & Kircky, 2010).

Por otro lado, es importante señalar que para los sitios LAG y SAR muestran niveles altos de potasio, sin embargo, los altos niveles de potasio no generan impactos en las plantas, pero sí, pueden provocar deficiencias en la absorción de magnesio, calcio, hierro y zinc (Xie et al., 2021); no obstante, se mostró que la concentración de este último en los sitios sigue manteniendo niveles óptimos.

En cuanto a la relación C/N, Brust (2019) menciona que la relación C/N óptima para sitios ocupados por pastizal es de 15:1, sin embargo, tomando en consideración, que, para llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica del suelo, los microorganismos requieren una relación C/N de 8:1 (Paul, 2007). Howell (2005), determina que la relación óptima se encuentra en el rango 10:1-24:1. Resulta importante mencionar que entre menores sean estos valores, más rápidamente se liberará el nitrógeno en el suelo para su uso inmediato por parte de las plantas (Li et al., 2016), por tanto, los valores cercanos a 15, indican una más rápida mineralización de nitrógeno y mayor disponibilidad de este (Brust, 2019).

La profundidad efectiva, señalada como la variable que ha podido tener mayor incidencia en el establecimiento y crecimiento de especies arbóreas en LM, dado a que, en términos generales, puede influir en gran medida en los tipos de plantas que pueden crecer en el suelo, ya que, por ejemplo, los suelos más profundos pueden proporcionar más nutrientes y agua a las plantas que aquellos suelos poco profundos y más superficiales (0- 20 cm) (Turner et al., 1997, Rajakaruna, 2008, Jirzel & Matus, 2013). Además, los árboles y plantas leñosas de portes altos dependen del suelo y de su profundidad como soporte mecánico (Fry et al., 2021). Aunado a lo anterior, la expresión de características como la cantidad de masa radicular y la densidad de la longitud de raíces (longitud de las raíces por unidad de suelo) se asocia directamente con la cantidad de suelo disponible (Gould et al., 2016). Además, Fry et al. (2018) indican que la plasticidad de las características funcionales de las raíces juega un rol crucial en la sobrevivencia de las plantas en condiciones de sequía, permitiéndoles una mejor adaptación a las condiciones de sequía. Lo anterior, ha sido reportado también para árboles en pastizales arbolados (Tomlinson et al., 2017, Zhou et al., 2020) y coincide con lo demostrado por Fry et al. (2021), en donde la mayor plasticidad de las características de las raíces aumenta en suelos con mayor profundidad, explicando así, que en ellos se establezcan comunidades vegetales con mayor riqueza. De manera similar, es importante señalar también, el potencial efecto de esta variable en conjunto con las características propias de los suelos vertisoles.

Dado a la presencia de arcillas y características de expansión-contracción, los suelos vertisoles presentan un drenaje de lento a muy lento durante la época lluviosa, cuando se expanden, incluso, si la precipitación ocurre de forma constante el drenaje llega a ser nulo

(Henríquez et al., 2001, Tamfuh et al., 2016), siendo suelos que se inundan con facilidad (Patil et al., 2016). Este comportamiento limita también la regeneración, pues no todas las especies arbóreas son tolerantes a condiciones de anegación y encharcamiento (Vieira et al., 2006, Pan et al., 2021, Werden et al., 2021) e incide en la diversidad de especies arbóreas del sitio. Además, aun cuando son suelos que retienen bien el agua, esta no necesariamente se encuentra disponible para las plantas (retenida entre las grietas por los cristales que conforman sus arcillas) (Pal et al., 2012, Çakir & Cangir, 2021), y la poca cantidad de agua que pueda infiltrarse en la zona más superficial (0-20 cm) es del 50% y disminuye a un 30% al alcanzar los 50 cm, siendo casi nula a los 100 cm (Elias & Alaily, 2001). Esta situación induce al desarrollo de sistemas radicales superficiales y aunado al estrés hídrico propio del bosque seco, generan condiciones de sequía por profundidad, la cual limita aún más el establecimiento y crecimiento de las plantas, pues, en los bosques secos tropicales, a diferencia de las sabanas, el mecanismo de las plantas para lidiar con esta condición corresponde al desarrollo de sistemas radicales profundos y con raíces finas que les permiten acceder al agua en capas más profundas del suelo (Brunner et al., 2015, Paz et al., 2015; Corlett, 2016; Castro et al., 2018; Werden et al., 2022).

Por tanto, las características y condiciones derivadas de los suelos vertisoles limitan la vegetación que puede desarrollarse en ellos a gramíneas resistentes a incendios y especies arbóreas, tolerantes a los daños radiculares producto de la formación de grietas durante la época seca (Ahmad, 1983) y con sistemas radicales fuertes, profundos y adaptaciones que les permiten el ahorro y uso eficiente del agua durante la época seca (Werden et al., 2018). De manera similar, Sann et al. (2016) afirman que la sucesión secundaria de un bosque seco con condiciones edáficas vérticas, no está liderada inicialmente por especies pioneras, sino por competidores superiores capaces de rebrotar, y que la distribución de las especies está determinada principalmente por los efectos filtradores de las condiciones edáficas.

Las condiciones edáficas ya mencionadas, en conjunto con la presencia de bloques de piedras planas, irregulares y superficiales podría justificar la existencia, abundancia y dominancia de las especies arbóreas como *C. vitifolium*, *G. ulmifolia* y *C. alata* y la abundancia predominante de *H. rufa* seguida por *M. maximus*, las cuales mostraron una tener una mayor influencia por parte de las relaciones (Ca+Mg)/K y Mg/K y la relación

C/N. Estas especies presentan raíces rizomatosas que permiten el rebrote después de la ocurrencia de incendios y sequías (Bucheli et al., 2013). En el caso de *G. ulmifolia* se caracteriza por colonizar y crecer en suelos con pobre capacidad de drenaje y en sitios pedregosos (Francis, 2000). De manera similar, a raíz de la poca profundidad del suelo y adaptación a las condiciones de competencia y del suelo, se explica también la presencia de las especies *Spondias purpurea* (González, 2019) y *Bursera simaruba* (Castellanos Castro & Sanders Buenfil, 2010, Hernández Rodríguez, 2019).

En cuanto corresponde a las plantas herbáceas, puede señalarse que el potencial de crecimiento de *H. rufa* a su vez podría verse reducido dado a la poca profundidad del suelo (Daubenmire, 1972), sin embargo, los resultados obtenidos sugieren que es la fertilidad del suelo la variable abiótica de mayor influencia en el crecimiento de esta especie. Dado a que en LM los niveles de magnesio (Mg) y calcio (Ca) son óptimos a altos, mientras que los valores de potasio son de medios a bajos en la mayor parte de las parcelas, la relación $(Ca+Mg) / K$ y Mg/K se rompe. A pesar de las potenciales limitantes derivadas de los niveles bajos a medios de K, *H. rufa* presenta flexibilidad en sus patrones de fenología, morfología y la asignación de biomasa (Pieters & Baruch, 1997).

Por otro lado, la presencia de *M. maximus* y su abundancia se explica dado a los altos niveles de calcio y magnesio. De forma puntual, podría deberse gracias a la alta concentración de Mg en general para el sitio LM ya que conforme a Días & Torezan (2020), el magnesio a diferencia de otros nutrientes presentes en el suelo, explica la abundancia de *M. maximus* en bosques secos en procesos de restauración, pues es el constituyente principal de la clorofila y es requerido para completar la adecuada absorción de nutrientes por parte de las plantas, además de brindar a la planta mayor tolerancia a dichas condiciones de crecimiento (hasta un 75% de sombra).

En términos generales, las características de la vegetación y del suelo en el sitio, remiten de nuevo a sugerir que el sitio Las Mesas puede corresponder a este tipo de ecosistema. Tomando en consideración La estructura y la dinámica de la sabana son consecuencia de un conjunto de factores que interactúan entre sí, y es probable que los cambios en los factores ambientales tengan un impacto significativo en su vegetación, al influir en la disponibilidad de recursos (Sala et al., 2000, Bond et al., 2003). A pesar de que el clima puede ser un

factor crucial en la formación de ecosistemas de sabana, siendo estos más característicos en sitios con una precipitación media anual de 508-1270 mm anuales (Webber et al., 2007), se asocian también a los climas tropicales húmedo y, y seco, en regiones donde la comunidad clímax debería ser alguna forma de bosque o arboleda estacional, pero las condiciones edáficas (por ejemplo, disponibilidad de nutrientes) o las perturbaciones impiden el establecimiento de esas especies asociadas con la comunidad clímax (Van Wilgen, 2009; Frager, 2020). Siendo así que los pastizales de gran extensión existentes en Mesoamericana son considerados sabanas creadas antropogénicamente o derivadas a partir de ciclos anuales de quema llevados a cabo en sitios de pastura, con el fin de eliminar la competencia y suprimir el componente leñoso (Hartshorn, 2001) y favorecer el establecimiento y desarrollo de pastos. A pesar de que la ocurrencia de incendios juega un rol fundamental para la formación de estos ecosistemas, su estructura, composición y diversidad (Scott, 1977; Trollope et al., 1984; Frost & Robertson, 1987; van Langevelde, 2003; Murphy & Bowman, 2012; Gomes et al., 2020), no siempre es el principal factor determinante para la creación y mantención de estas (Loreau et al., 2002).

Las características de suelos similares a los vertisoles, con altos contenidos de arcilla, comportamiento de contracción- expansión, poco profundos, con malas condiciones de drenaje derivan también en la creación y sostén de ecosistemas de sabana, denominadas sabanas edáficas (Woodward, 2012). En sitios con estas características, la coexistencia entre especies gramíneas y otras plantas depende de la disponibilidad de espacio de enraizamiento en el suelo, y por tanto, de la profundidad efectiva, de la cual se deriva en gran medida la competencia por recursos bajo este (Dornbush & Wilsey, 2010). En general la presencia y abundancia de especies de pastos, correspondientes por ejemplo a las familias Poacea (*H. rufa* y *M. maximus* en este caso), Ciperacea (como *S. melaleuca* también presente en el sitio) y Juncaceae, son características de áreas en donde los árboles no han podido desarrollarse y alcanzar una cobertura uniforme en el sitio debido a características edáficas desfavorables como drenaje y aireación deficientes, poca profundidad efectiva, sequía y reiterada ocurrencia de incendios, todas condiciones que los pastos pueden tolerar (Thorp, 1948, Petermann & Buzhdygan, 2021).

6.4. Fragmentación del paisaje

Las métricas de paisaje obtenidas, principalmente el número de parches para la cobertura de bosque y no bosque; así como la densidad de parches por cada 100/ha coinciden con la estructura de paisaje característica del bosque seco en Costa Rica, constituida por parches de bosque distribuidos en el noroeste del país rodeados por pastizales y áreas de cultivo, representando tan sólo un 0,1% de su extensión original (Quesada & Stoner, 2004, Janzen, 1988). Por otro lado, la mayor proporción de fragmentos de tamaño crítico se encuentra en países como Nicaragua, Guatemala, Ecuador, Costa Rica y Perú, que también tienen una extensión reducida de bosque seco en comparación con otros países. Debido a los efectos combinados de su reducida extensión y su mayor fragmentación, los bosques secos tropicales de estos países corren un mayor riesgo de sufrir la presión de las perturbaciones humanas (Quintero & Sánchez, 2010).

Los parches de bosque seco tropical se encuentran embebidos en una matriz compuesta por sitios dedicados al desarrollo de ganadería intensiva (vacuna principalmente) y agricultura, correspondiente al cultivo de pastos, caña de azúcar y arroz, y en menor cantidad maíz, frijol, plátano, melón, sandía, cítricos, tubérculos (yuca y tiquisque) y papaya. De manera similar, se encuentran sitios de desarrollo urbano, la presencia de infraestructura vial y el desarrollo de la industria turística (INDER, 2015, Sánchez, 2017).

Por otro lado, el valor de área media de los parches de bosque es mayor a los otros usos del suelo; lo cual, resulta importante mencionar, pues la riqueza de especies está positivamente correlacionada con el tamaño del fragmento, de ahí que las grandes extensiones intactas de bosque continuo contengan un mayor número de especies por unidad de superficie que los fragmentos de bosque más pequeños (Laurance et al., 2002). Mientras que los fragmentos más grandes capturan la mayoría de las especies y procesos vitales para mantener las funciones de los ecosistemas, y los de tamaño crítico (fragmentos intermedios y más pequeños) tienen mayores tasas de extinción de especies y mayor efecto de borde (Laurance et al., 2002, Rodríguez et al., 2007a, Rodríguez et al., 2007b).

Además, el valor obtenido para el Índice de Shannon (cerca a uno), sugiere que el paisaje se encuentra fragmentado, ya que, según Nageendra (2002), cuando la diversidad de clases de uso del suelo en un sitio es grande, el valor del índice se acerca a 1 e indica que los diferentes tipos de uso del suelo tienen una proporción aproximadamente igual; es decir, hay una mayor diversidad de paisaje (Dušek & Popelková, 2017).

Dado a las características de la vegetación presente en el sector Las Mesas, resulta importante considerar que a nivel general los efectos negativos del aislamiento, el tamaño de parche y la longitud de borde producto de la fragmentación de los bosques tropicales, tiene impactos negativos en las comunidades vegetales (Ibáñez et al., 2013). En los paisajes fragmentados, el tamaño de los parches (fragmentos) determina la extensión y abundancia de las poblaciones de plantas y presenta una correlación positiva con la diversidad de plantas. Por otro lado, el aislamiento altera el intercambio genético en las comunidades, mediante la modificación del flujo de polen y la dispersión de semillas, lo cual resulta perjudicial para especies auto incompatibles y dispersadas por animales. Esto por la dificultad que implica el movimiento entre los parches, mientras que las especies polinizadas y dispersadas por el viento se ven menos afectadas, pues el polen y las semillas pueden viajar grandes distancias entre fragmentos (Castillo et al., 2011).

Otro efecto importante de la fragmentación que es importante mencionar, corresponde a la alteración en las relaciones de competencia de las especies nativas con especies introducidas, provocando mayor ventaja para estas últimas. Esto debido a la mayor adaptación a cambios en las condiciones micro climáticas y mayor disponibilidad de luz en los bordes de los fragmentos (Honnay et al., 2015). Esto, aunado al hecho de que la fragmentación, proporciona más facilidad de acceso humano a los bosques, quienes, pueden dispersar especies exóticas invasoras aún más impactos negativos en el ecosistema (With, 2002; Bullock et al., 2018).

La ocurrencia de fragmentación del paisaje podría explicar, conforme a los efectos anteriormente explicados, el por qué en el sitio Las Mesas existen únicamente especies heliófitas efímeras después de un período de sucesión de 10 años. Sin embargo, la diversidad del sitio y la composición de especies no es la esperada dado a su colindancia

con parches de bosque en sucesión secundaria en la mayor parte de su perímetro (M. Gutiérrez, comunicación personal, 6 de setiembre 2022), que constituyen una fuente semillera cercana, lo que no concuerda con la riqueza ni diversidad de especies observada. Además, a nivel general, a pesar de encontrarse en un paisaje fragmentado, en los sitios de bosque secundario en diferentes estadios sucesionales, se presenta abundancia y riqueza de especies esperados para sus respectivos estadios, con especies esciófitas producto no solamente de fuentes semilleras sino también de la fuente semillera presente en parches de bosque cercanos, cuya dispersión conforme a la evidencia de paso de fauna (Reyes, 2012), ocurre por zoocoria. Esto permite inferir que el grado de fragmentación no ha jugado un rol determinante en su proceso de sucesión secundario, al igual que en el sitio Las Mesas.

6.5. Propuesta de restauración ecológica

Considerando que la vegetación y trayectoria del sitio se han orientado más hacia una sabana originada por acciones antrópicas y condiciones edáficas, se recomienda dejar que el proceso de sucesión natural continúe en el sitio mientras se sigue protegiendo de los incendios, principalmente también por los altos costos que implicaría superar la barrera generada por la poca profundidad efectiva y la dificultad para trabajar los suelos vertisoles. Lo anterior, aunado también a la presencia de especies gramíneas invasoras, que limitan el éxito obtenido en la restauración activa del bosque seco tropical (Wilson et al., 2021).

Sin embargo, dado al interés de la Estación Experimental Forestal Horizontes en someter el Área de Estudio al Sistema de Pagos Ambientales en modalidad de regeneración natural o bien por conservación de bosque; se plantea la aplicación de la técnica de nucleación. La técnica se realizará no con el fin de superar las limitantes edáficas ya mencionadas a lo largo del presente trabajo, sino más bien, con la finalidad de incrementar la diversidad del sitio en cuanto corresponde a composición y estructura.

6.5.1. Nucleación aplicada

La técnica de nucleación puede generar costos menores en comparación a si se realizara un proceso de restauración activa del sitio; esto dado a la baja mortalidad de las plántulas bajo la sombra de individuos ya establecidas, producto de mejores condiciones microclimáticas (Bertacchi et al., 2016).

Para ello, se seleccionaron 27 islas de regeneración del total de islas o grupos de árboles existen en el sitio como la que se plantea a continuación o, como se muestra en la Figura 24. La cantidad de núcleos a establecer por isla de regeneración se estimó con base a lo recomendado por Newton & Tejedor (2011) y Wilson et al. (2021).

Diseño y selección de especies

El tamaño de cada uno de los núcleos definidos por la existencia de un árbol nodriza central es relativo a las condiciones del sitio (Wilson et al., 2021) sin embargo, según estudios similares, se seleccionará como árbol nodriza, aquellos individuos que tengan un diámetro de copa mínimo de 6 m, para generar un área de cobertura de mínimo 28 m². En términos generales, para sitios en estas condiciones se recomiendan núcleos grandes de más de 64 m² en los cuales, se ha evidenciado se favorece la visitación de fauna, principalmente aves y, por tanto, la mayor dispersión y reclutamiento.

Conforme a lo recomendado por Díaz- Triana et al. (2019), se define el diseño para realizar la plantación tomando el árbol nodriza como centro del primer círculo de plántulas, con un radio de 2,5 m y conformado por ocho individuos de tres especies esciófitas. El segundo círculo también tomará como centro al árbol nodriza y contará con un radio de 7 m, ocupado por un total de 12 individuos de cuatro especies heliófitas durables, teniendo en términos generales un total de 636 individuos.

Las especies fueron seleccionadas en función de rasgos funcionales que les permiten crecer en las condiciones del sitio y que han reportado adecuados porcentajes de sobrevivencia en estudios y experimentos de restauración ecológica en sitios de bosque seco tropical con suelos vertisoles (Álvarez-Aquino & Williams-Linera, 2012, Werden et al., 2018a, Werden et al., 2018b). Sin embargo, cabe destacar que en dichos estudios no se contempló la profundidad efectiva del suelo, la principal limitante para el desarrollo de la regeneración natural en el sitio.

Actividades por desarrollar

- Trazado y estaquillado: se trazan los círculos alrededor de los árboles nodrizas y se colocan estacas en los puntos específicos en los cuales se colocarán las plántulas. Se recomienda señalar las estacas ya sea con cinta topográfica o pintura, con el fin de visualizarlos mejor y ubicarlos posteriormente para realizar las labores de limpieza y monitoreo. Además, las estacas posteriormente pueden emplearse como tutores para el crecimiento de los árboles.
- Limpieza: para cada uno de los árboles a plantar se realizará una limpieza manual al ras del suelo, produciendo una rodaja de mínimo un metro para cada plántula. Es importante señalar que esta labor debe realizarse de forma cuidadosa y con mucha observación para evitar eliminar regeneración de especies arbóreas que puedan existir en el sitio.
- Ahoyado: para cada plántula se preparará un hoyo de aproximadamente 25 cm de profundidad y de un diámetro de 25 cm, con el fin de que en los primeros meses la planta cuente con un espacio adecuado para el crecimiento de las raíces y el acceso de esta a agua y nutrientes.

- **Trasplante y plantación:** se debe retirar la bolsa cuidadosamente y se recomienda mezclar el sustrato del suelo con materia orgánica para rellenar el hoyo, con la finalidad de mejorar las características de infiltración del suelo.

Dado a que la fertilización no mostró ser un problema para el suelo del sitio, no es necesario aplicar fertilizante al momento del trasplante.

- **Mantenimiento:** se recomienda dos principales actividades de mantenimiento correspondientes al control fitosanitario y a la eliminación de pastos e hierbas que actúan como competencia y podrían limitar el establecimiento y crecimiento de las plántulas, estas labores se realizarán los tres primeros años. El primer mantenimiento debe realizarse un mes después de haber realizado el trasplante, para repetirse en períodos de dos meses más tarde y posteriormente al inicio de la estación seca, durante el cual, el mantenimiento se realizará cada dos meses.

A pesar de que, en las islas de regeneración la presencia de pastos es nula o ya casi escasa, esta es abundante en el entorno circundante, es importante mantener un importante control de estos durante los tres primeros años, por lo que, en caso de que se dé la presencia de estos en los interiores de las islas de regeneración ya existentes o en el interior de las islas, se recomienda la eliminación manual de los mismos, de forma cuidadosa para no eliminar o dañar la regeneración que pudiese estarse dando en el sitio y evitando al máximo el uso de sustancias químicas de ser posible.

- *Replante:* al final de cada estación seca, durante los primeros tres años se recomienda realizar un replante para compensar los porcentajes de mortalidad alcanzados en dicho período.
- *Monitoreo:* se realizará de forma constante, iniciando un mes después de la plantación, posterior a ello, se realizará cada dos meses, y manteniendo esa periodicidad durante los primeros dos años, para el tercer año se realizará cada tres meses. Una vez finalizados estos tres años, se realizará dos veces por año (una vez

en la estación seca y otra en la estación lluviosa), tomando en consideración los siguientes indicadores:

- Porcentaje de sobrevivencia.
- Crecimiento en DAP y altura total.
- Abundancia.
- Riqueza, con el fin de evaluar si existe un aumento respecto al estado inicial de especies reportadas para el sitio.
- Estado fenológico de los individuos (floración y fructificación).
- Presencia de fauna en el sitio, mediante cámaras trampa, redes, trampas u observación directa.
- Estado fitosanitario.

En cuanto se refiere al riego, al ser el agua un recurso de acceso limitado y al uso que se da de este durante la temporada de incendios, no se menciona esta actividad de forma explícita como parte del proceso de enriquecimiento de la comunidad arborea, aclarando que, de darse la posibilidad de realizarlo sea únicamente durante la época seca si las condiciones así lo permiten.

7. CONCLUSIONES

El sitio Las Mesas desde la década de 1960 correspondía a un pastizal dedicado a la actividad ganadera. Sin embargo, el análisis derivado de las imágenes satelitales permitió inferir sobre el paulatino arribo de especies arbóreas al sitio y la eventual formación de islas de regeneración, lo cual evidenció el efecto de la ocurrencia de incendios sobre el proceso de regeneración, causando mayor degradación del sitio, entorpeciendo el proceso y evitando que el sitio pudiese ir avanzando a estadios sucesionales más avanzados.

A pesar de encontrarse rodeado en su mayor parte por sitios de bosque secundario, existe dominancia de especies heliófitas, pioneras características de los primeros estadios de sucesión presentando baja diversidad y poca similitud con los otros sitios en sucesión y de edades similares (a partir de 1989). Siendo la constante ocurrencia de incendios y la profundidad del suelo los factores que han generado poca riqueza y abundancia de especies arbóreas en el sitio, favoreciendo el establecimiento, expansión y dominancia de gramíneas.

La mayor limitante edáfica que explica la ausencia de especies corresponde a la profundidad efectiva del suelo; sin embargo, es importante señalar el impacto de las especies gramíneas invasoras dominantes en el sitio (*H. rufa* y *M. maximus*) con adaptaciones y mecanismos que les permiten competir y adaptarse a las condiciones del sitio con mayor facilidad que otras especies arbóreas presentes en otros sitios y esperados para estadios más avanzados.

En cuanto a la fragmentación, el sitio Las Mesas al igual que la EFFH se encuentran inmersos en un paisaje fragmentado. Este fenómeno, ha mostrado no tener mayor incidencia para los sitios de bosque seco tropical secundario cercanos a Las Mesas, ya que se esperaría, que el mayor efecto sea en la dispersión de semillas de especies zoocoras. No obstante, en dichos sitios, al igual que en el sitio Las Mesas existe evidencia de fauna dispersora, principalmente aves.

En términos generales el proceso de sucesión secundaria está ocurriendo en el sitio Las Mesas. Sin embargo, no lo ha hecho al ritmo esperado, debido a la degradación generada por la constante ocurrencia de incendios, la permanencia y propagación de *H. rufa* y *M. maximus* y las características intrínsecas al tipo de suelo presente en el sitio.

8. RECOMENDACIONES

- Tomar una mayor cantidad de datos en cuanto corresponde a los muestreos de suelo en los sitios ocupados por bosque secundario en diferentes estadios sucesionales con el fin de explorar otras opciones de análisis de datos.
- Realizar un muestreo de regeneración natural, con el fin de evaluar cuáles especies logran arribar al sitio.
- Ampliar el análisis realizado con el uso de variables climáticas a nivel de micrositio y considerar los rasgos funcionales de las especies sobre estas condiciones específicas en el sitio.
- Complementar el estudio de fragmentación con un estudio de la fauna presente en el sitio, ya sea mediante avistamientos directos o con cámaras trampa o bien con indicios. Con la intención de evaluar con mayor certeza si existe un efecto de la estructura del paisaje en los fenómenos de dispersión o polinización de especies arbóreas. Por otro lado, se podría emplear el monitoreo de la fauna para determinar si el fenómeno de herbivoría ha constituido una limitante biótica al proceso de regeneración del sitio.
- Mejorar el nivel de identificación taxonómica de las especies arbustivas y herbáceas.
- Continuar con la protección del sitio frente a la ocurrencia de incendios.
- Evaluar los servicios ecosistémicos que el sitio, en una condición de sabana proporciona, en miras a justificar su importancia y su conservación.

9. Bibliografía

- Acevedo-Rodríguez, P., & Strong, M. T. (2012). Catalogue of seed plants of the West Indies. *Smithsonian Contributions to Botany*.
- Acosta Vargas, L. G., Quesada Monge, R., Reyes Cordero, D., & Castillo Ugalde, M. (2012). Restauración del bosque seco tropical de Costa Rica: evolución del bosque y conservación de especies.
- Aguirre, Sonia E., Piraneque, Nelson V., & Díaz, Carlos J.. (2019). Valoración del Estado del Suelo en Zona de Bosque Seco Tropical Mediante Técnicas Analíticas y Cromatogramas. *Información tecnológica*, 30(6), 337-350.
- Aide, T. M., Clark, M. L., Grau, H. R., López-Carr, D., Levy, M. A., Redo, D., Bonilla-Moheno, M., Riner, G., Andrade-Núñez, M. J., & Muñiz, M. (2013). Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001-2010). *Biotropica*, 45(2), 262- 271. 10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x
- Allen, K., Dupuy, J. M., Gei, M.G., Hulshof, C. M., Medvigy, D., Pizano, C., Salgado-Negret, B., Smith, C. M., Trierweiler, A., Van Bloem, S. J., Waring, B. G., Xu, X., Powers, J. S. (2017). Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes? *Environmental Research Letters*, 12, 023001.
- Almazán-Núñez, R. C., Arizmendi, M. D. C., Eguiarte, L. E., & Corcuera, P. (2012). Changes in composition, diversity and structure of woody plants in successional stages of tropical dry forest in southwest Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(4), 1096- 1109.
- Alvarado, P. Comunicación personal. Contacto: palvarado@acguanacaste.ac.cr. Consultado el 28 de julio del 2022. Liberia, Guanacaste, Costa Rica.
- Ammond, S. A., Litton, C. M., Ellsworth, L. M., & Leary, J. K. (2013). Restoration of native plant communities in a Hawaiian dry lowland ecosystem dominated by the invasive grass *Megathyrsus maximus*. *Applied Vegetation Science*, 16(1), 29-39.
- Arruda, D. M., Brandão, D. O., Costa, F. V., Tolentino, G. S., Brasil, R. D., D'Ângelo Neto, S., & Nunes, Y. R. F. (2011). Structural aspects and floristic similarity among tropical dry forest fragments with different management histories in Northern Minas Gerais, Brazil. *Revista Árvore*, 35, 131-142.
- Álvarez-Yépez, J. C., Martínez-Yrizar, A., & Fredericksen, T. S. (2018). Special issue: resilience of tropical dry forests to extreme disturbance events. *For. Ecol. Manag.* 426, 1–6.
- Arroyo-Rodríguez, V., Melo, P., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., Chazdon, R. L., Meave, J. A., & Tabarelli, M. (2017). Multiple successional pathways in

- human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. *Biological Reviews*, 92(1), 326-340.
- Baguette, M., Blanchet, S., Legrand, D., Stevens, V. M., & Turlure, C. (2013). Individual dispersal, landscape connectivity and ecological networks. *Biological Reviews*, 88(2), 310-326.
- Banda-R, K., Delgado-Salinas, A., Dexter, K. G., Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A., Prado, D., Pullan, M., Quintana, C., Riina, R., Rodríguez M, G. M., Weintritt, J., Acevedo- Rodríguez, P., Adarve, J., Álvarez, E., Aranguren B, A., Arteaga, J. C., Aymard, G., Castaño, A., Ceballos-Mago, N., Pennington, R. T. (2016). Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 353(6306), 1383-1387. 10.1126/science.aaf5080
- Barlow, J., Lennox, G. D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A. C., Nally, R. M., Thomson, J. R., Frosini, S., Ferraz, D. B., Louzada, J., Hugo, V., Oliveira, F., Parry, L., Ribeiro, R., Solar, D. C., Vieira, I. C. G., Aragão, L. E. O. C., Begotti, R. A., & Braga, R. F. (2016). Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*, 535(7610), 144-147.
- Berrahmouni, N., Regato, P., & Parfondry, M. (2015). Global guidelines for the restoration of degraded forests and landscapes in drylands: building resilience and benefiting livelihoods. FAO Forestry Paper, (175).
- Bertacchi, M. I. F., Amazonas, N. T., Brancalion, P. H., Brondani, G. E., de Oliveira, A. C., de Pascoa, M. A., & Rodrigues, R. R. (2016). Establishment of tree seedlings in the understory of restoration plantations: natural regeneration and enrichment plantings. *Restoration Ecology*, 24(1), 100-108.
- Bhadouria, R., Singh, R., Srivastava, P., & Raghubanshi, A. S. (2016). Understanding the ecology of tree-seedling growth in dry tropical environment: a management perspective. *Energy, Ecology & Environment*, 1(5), 296-309. 10.1007/s40974-016-0038-3.
- Blackie, R., Baldauf, C., Gautier, D., Gumbo, D., Kassa, H., Parthasarathy, N., Paumgarten, F., Sola, P., Pulla, S., Waeber, P., & Sunderland, T. C. H. (2014). Tropical dry forests: The state of global knowledge and recommendations for future research. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Bolaños, R. & Watson, V. (1993). Mapa ecológico de Costa Rica, según el sistema de clasificación de Zonas de Vida del Mundo de L. R. Holdridge. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica. Escala 1:200.000.

- Bond, W. J., & Van Wilgen, B. W. (2012). *Fire and plants* (Vol. 14). Springer Science & Business Media.
- Brunner, I., Herzog, C., Dawes, M. A., Arend, M., & Sperisen, C. (2015). How tree roots respond to drought. *Frontiers in plant science*, 6, 547.
- Buzzard, V., Hulshof, C. M., Birt, T., Violle, C., Enquist, B. J., & Larjavaara, M. (2016). Re-growing a tropical dry forest. *Functional Ecology*, 30(6), 1006-1013. 10.1111/1365-2435.12579
- Calvo-Alvarado, J., McLennan, B., Sánchez-Azofeifa, A., & Garvin, T. (2009). Deforestation and forest restoration in Guanacaste, Costa Rica: Putting conservation policies in context. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 931-940.
- Cardenas, L. A. S. (2013). Ecosystems of South America. *Encyclopedia of Biodiversity* (Second Edition), 105-117
- Castillo, A., Quesada, M., Rodriguez, F., Anaya, F., Galicia, C., Monge, F., & Sanchez-Azofeifa, A. (2013). Tropical dry forests in Latin America: analyzing the history of land use and present socio-ecological struggles. *Tropical Dry Forests in the Americas: Ecology, conservation and management*, 375-394
- Castro, S. M., Sanchez-Azofeifa, G. A., & Sato, H. (2018). Effect of drought on productivity in a Costa Rican tropical dry forest. *Environmental Research Letters*, 13(4), 045001.
- Caviedes, J., & Ibarra, J. T. (2017). Influence of anthropogenic disturbances on stand structural complexity in Andean temperate forests: implications for managing key habitat for biodiversity. *PloS one*, 12(1), e0169450.
- Ceccon, E., & Hernández, P. (2009). Seed rain dynamics following disturbance exclusion in a secondary tropical dry forest in Morelos, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 57(1-2), 257-269.
- Chamu Alonso, P. (2021). Síndromes de dispersión de las formas de crecimiento y tipos de vegetación del Ejido de Tumbisca, Michoacán. Tesis para optar por el grado de Máster en Ciencias Biológicas en Ecología y Conservación. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Biología, Morelia, Michoacán, México.
- Clark, W. (2010) Principles of Landscape Ecology. *Nature Education Knowledge* 3(10):34
- Clark, J. A., & Covey, K. R. (2013). Tree species richness and the logging of natural forests: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 276, 146-153.
- Condé, T., Higuchi, N., & JN Lima, A. (2019). Illegal selective logging and forest fires in the northern Brazilian Amazon. *Forests*, 10(1), 61.
- Corona, R., Galicia, L., Palacio-Prieto, J. L., Bürgi, M., & Hersperger, A. (2016). Local deforestation patterns and driving forces in a tropical dry forest in two municipalities

- of southern Oaxaca, México (1985-2006). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2016(91), 86-104.
- Crouzeilles, R., Ferreira, M. S., Chazdon, R. L., Lindenmayer, D. B., Sansevero, J. B. B., Monteiro, L., Iribarrem, A., Latawiec, A. E., & Strassburg, B. B. N. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science Advances*, 3(11), e1701345. 10.1126/sciadv.1701345
- Corlett, R. T. (2016). The impacts of droughts in tropical forests. *Trends in plant science*, 21(7), 584-593.
- Daubenmire, R. (1972). Ecology of *Hyparrhenia rufa* (Nees) in derived savanna in north-western Costa Rica. *Journal of Applied Ecology*, 11-23.
- De Andrade, D. F. C., Ruschel, A. R., Schwartz, G., de Carvalho, J. O. P., Humphries, S., & Gama, J. R. V. (2020). Forest resilience to fire in eastern Amazon depends on the intensity of pre-fire disturbance. *Forest Ecology and Management*, 472, 118258.
- Deckers B, Verheyen K, Vanhellefont M, Maddens E, Muys B, Hermy M. (2008). Impact of avian frugivores on dispersal and recruitment of the invasive *Prunus serotina* in an agricultural landscape. *Biological Invasions*, 10, 717-727.
- De Luis, M., Raventós, J., & González-Hidalgo, J. C. (2005). Factors controlling seedling germination after fire in Mediterranean gorse shrublands. Implications for fire prescription. *Journal of Environmental Management*, 76(2), 159-166.
- Derroire, G. (2016). *Secondary Succession in Tropical Dry Forests: Drivers and Mechanisms of Forest Regeneration*. Tesis Doctoral, Bangor University (United Kingdom).
- Dias, J., & Torezan, J. M. D. (2020). Factors Affecting the abundance of ruderal species and *Megathyrsus maximus*, an Invasive C4 Grass in Atlantic Forest Restoration Sites. *Floresta*, 50(4), 1931-1938.
- Díaz López, J. N., & Sandí Céspedes, M. I. (2015). Establecimiento de parcelas permanentes de monitoreo en el bosque seco tropical secundario de la Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste Costa Rica. Informe de Práctica Profesional como requisito para obtener el título de diplomado en Manejo Forestal y Vida Silvestre, Universidad Técnica Nacional, Sede Atenas, Alajuela, Costa Rica.
- Díaz-Triana JE, Torres-Rodríguez S, Muñoz-P L, Avella-M. A. 2019. Monitoreo de la restauración ecológica en un bosque seco tropical interandino (Huila, Colombia): programa y resultados preliminares. *Caldasia* 41(1):60–77. doi: 10.15446/caldasia.v41n1.71.

- Dimson, M., & Gillespie, T. W. (2020). Trends in active restoration of tropical dry forest: Methods, metrics, and outcomes. *Forest Ecology and Management*, 467, 118150.
- Dupin, M. G., Espírito-Santo, M. M., Leite, M. E., Silva, J. O., Rocha, A. M., Barbosa, R. S., & Anaya, F. C. (2018). Land use policies and deforestation in Brazilian tropical dry forests between 2000 and 2015. *Environmental Research Letters*, 13(3), 035008.
- Ellsworth, L. M., Litton, C. M., Taylor, A. D., & Kauffman, J. B. (2013). Spatial and temporal variability of guinea grass (*Megathyrsus maximus*) fuel loads and moisture on Oahu, Hawaii. *International journal of wildland fire*, 22(8), 1083-1092.
- Espinosa-García, F. J., Villaseñor, J. L., & Vibrans, H. (2006). Mexico: Biodiversity, distribution, and possible economic impact of exotic weeds. Invasive plants on the move: controlling them in North America, 43.
- Espinosa-Palomeque, O., Castillo-Campos, G., Arellano, L., Pérez-Hernández, P., & López-Ortíz, S. (2020). Floristic diversity and stocking rate in tropical dry forest secondary vegetation used for grazing. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01088.
- Ewel, J. J. (1977). Differences between wet and dry successional tropical ecosystems. Diferencias entre ecosistemas tropicales sucesionales húmedos y secos. *Geo Eco Trop*, 1(2), 103-117.
- Ewers, R. M., & Didham, R. K. (2006). Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological reviews*, 81(1), 117-142.
- FAO, 2011. Grassland Index. A searchable catalogue of grass and forage legumes. FAO, Rome, Italy
- FAO, 2014. Grassland species profiles. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Gbase/Default.htm>
- Ferreira, M. C., & Vieira, D. L. M. (2017). Topsoil for restoration: Resprouting of root fragments and germination of pioneers trigger tropical dry forest regeneration. *Ecological Engineering*, 103, 1-12.
- Finegan, B. (1996). Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *Trends in ecology & evolution*, 11(3), 119-124.
- Fry, E. L., Wilkinson, A., Johnson, D., Pritchard, W. J., Ostle, N. J., Baggs, E. M., & Bardgett, R. D. (2021). Do soil depth and plant community composition interact to modify the resistance and resilience of grassland ecosystem functioning to drought?. *Ecology and evolution*, 11(17), 11960-11973.
- Fujii, S., Mori, A. S., Koide, D., Makoto, K., Matsuoka, S., Osono, T., et al. (2017). Disentangling relationships between plant diversity and decomposition processes under forest restoration. *Journal of Applied Ecology*, 54, 80–90.

- Galindo-Rodriguez, C., & Roa-Fuentes, L. L. (2017). Seed desiccation tolerance and dispersal in tropical dry forests in Colombia: Implications for ecological restoration. *Forest Ecology and Management*, 404, 289-293.
- Godinot, F., Somarriba, E., Finegan, B., & Delgado-Rodríguez, D. (2020). Bosques tropicales estacionalmente secos son importantes para ganaderos en el noroeste costarricense. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 20-50.
- Guariguata, M. R. (2000). Seed and seedling ecology of tree species in neotropical secondary forests: management implications. *Ecological applications*, 10(1), 145-154.
- Guariguata MR, Kattan GH. (2002). *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Costa Rica: Asociación de Editoriales Universitarias de América Latina y el Caribe. ISBN-13: 978-9968801119
- Hartung, M., Carreño-Rocabado, G., Peña-Claros, M., & van der Sande, M. T. (2021). Tropical dry forest resilience to fire depends on fire frequency and climate. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 755104.
- Heuzé V., Tran G., Baumont R., 2016. Calopo (*Calopogonium mucunoides*). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/328> Last updated on April 5, 2016, 17:21.
- Heuzé V., Tran G., Hassoun P., Lebas F. (2015). Jaragua (*Hyparrhenia rufa*). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/426>
- Hilje, B., Calvo-Alvarado, J., Jiménez-Rodríguez, C., & Sánchez-Azofeifa, A. (2015). Tree species composition, breeding systems, and pollination and dispersal syndromes in three forest successional stages in a tropical dry forest in Mesoamerica. *Tropical Conservation Science*, 8(1), 76-94.
- HilleRisLambers, J., Adler, P. B., Harpole, W. S., Levine, J. M., & Mayfield, M. M. (2012). Rethinking community assembly through the lens of coexistence theory. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 43(227).
- Hirzel, J., & Matus, I. (2013). Effect of soil depth and increasing fertilization rate on yield and its components of two durum wheat varieties. *Chilean journal of agricultural research*, 73(1), 55-59.
- Hoekstra, J., Boucher, T., Ricketts, T., Roberts, C., 2005. Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology Letters* 8, 23–29.
- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems?. *Forest ecology and management*, 261(10), 1558-1563.

- Huber, D. M., & Jones, J. B. (2013). The role of magnesium in plant disease. *Plant and soil*, 368(1), 73-85.
- Imbert, D., & Portecop, J. (2008). Hurricane disturbance and forest resilience: Assessing structural vs. functional changes in a Caribbean dry forest. *Forest Ecology and Management*, 255, 3494-3501.
- INTA. (2015a). Suelos de Costa Rica: Orden Andisol. Boletín Técnico, 5, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, Costa Rica.
- INTA. (2015b). Suelos de Costa Rica: Orden Inceptisol. Boletín Técnico, 5, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, Costa Rica.
- IUSS Working Group WRB, 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. *World Soil Resources Reports* No. 106. FAO, Rome.
- Janzen, D. H. (1988). Tropical dry forests. *Biodiversity*, 15, 130-7.
- Jara-Guerrero, A., González-Sánchez, D., Escudero, A., & Espinosa, C. I. (2021). Chronic disturbance in a tropical dry forest: disentangling direct and indirect pathways behind the loss of plant richness. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 723985.
- Johnson-Fulton, S. B. (2014). *Systematics, biogeography, and ethnobotany of the pantropical family Cochlospermaceae (Malvales)*. Miami University.
- Jordanova, N. (2017). Magnetism of soils with limitations to root growth: Vertisols, Solonetz, Solonchaks, and Leptosols. *Soil Magnetism, Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture*, 221-285.
- Jørgensen, D. (2015). Ecological restoration as objective, target, and tool in international biodiversity policy. *Ecology and Society*, 20(4) <http://www.jstor.org/stable/26270312>.
- Jung, M. (2013). *LecoS-A QGIS plugin for automated landscape ecology analysis* (No. e116v2). PeerJ PrePrints.
- Kennard, D. K. (1999). *Regeneration of commercial tree species following controlled burns in a tropical dry forest in eastern Bolivia*. University of Florida.
- Kennard, D. K. (2002). Secondary forest succession in a tropical dry forest: patterns of development across a 50-year chronosequence in lowland Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, 18(1), 53-66. 10.1017/S0266467402002031
- Kindlmann, P., & Burel, F. (2008). Connectivity measures: a review. *Landscape ecology*, 23, 879-890.

- Kovda, I. (2020). Vertisols: Extreme features and extreme environment. *Geoderma Regional*, 22, e00312.
- Khurana, E. K. T. A., & Singh, J. S. (2001). Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. *Environmental conservation*, 28(1), 39-52.
- Lindenmayer, D., Hobbs, R. J., Montague-Drake, R., Alexandra, J., Bennett, A., Burgman, M. & Zavaleta, E. (2008). A checklist for ecological management of landscapes for conservation. *Ecology letters*, 11(1), 78-91.
- Lohbeck, M., Lebrija-Trejos, E., Martínez-Ramos, M., Meave, J. A., Poorter, L., & Bongers, F. (2015). Functional trait strategies of trees in dry and wet tropical forests are similar but differ in their consequences for succession. *PloS one*, 10(4), e0123741.
- Loiselle B, Dirzo R. (2002). Plant–animal interactions and community structure. In: Chazdon RL, Whitmore TC, eds. *Foundations of Tropical Forest Biology: Classic Papers with Commentaries*. Chicago: University of Chicago Press, 269- 338.
- López, S., Chanona, M. A., Borja, A., Zamora, A., Castro, L. Ciudad de México. (2011). *Guía técnica para el control del pasto jaragua (Hyparrhenia rufa)*, 56 pp.
- Lopezaraiza-Mikel, M., Quesada, M., Álvarez-Añorve, M., Ávila-Cabadilla, L., Martín-Rodríguez, S., Calvo-Alvarado, J. & Vázquez-Ramírez, A. (2013). Phenological patterns of tropical dry forests along latitudinal and successional gradients in the neotropics. In *Tropical dry forests in the Americas* (pp. 119-146). CRC Press.
- Maltby, E., Acreman, M., Maltby, A., Bryson, P., Bradshaw, N. (2019). “Wholescape thinking: towards integrating the management of catchments, coast and the sea through partnerships – a guidance note”. Mayo de 2019. Londres: Natural Capital Initiative.
- Mansourian, S. (2021). From landscape ecology to forest landscape restoration. *Landscape Ecology*, 36, 2443-2452.
- Marshall, V. M., Lewis, M. M., & Ostendorf, B. (2012). Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an invader and threat to biodiversity in arid environments: a review. *Journal of Arid Environments*, 78, 1-12.
- Martin, D. M. (2017). Ecological restoration should be redefined for the twenty-first century. *Restoration Ecology*, 25(5), 668-673.
- Martins, M., da Silva Zanzini, A. C., & Santiago, W. T. V. (2007). Síndromes de dispersão em formações florestais do bioma Cerrado no Estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(S1), 807-809.
- Martínez, J. M. P. (2016). El papel del análisis por componentes principales en la evaluación de redes de control de la calidad del aire. *Comunicaciones en Estadística*, 9(2), 271-294.

- Maza-Villalobos, S., Balvanera, P., & Martínez-Ramos, M. (2011). Early regeneration of tropical dry forest from abandoned pastures: contrasting chronosequence and dynamic approaches. *Biotropica*, 43(6), 666-675.
- Maza-Villalobos, S., Poorter, L., & Martínez-Ramos, M. (2013). Effects of ENSO and temporal rainfall variation on the dynamics of successional communities in old-field succession of a tropical dry forest. *PLoS One*, 8(12), e82040.
- McDonald T, Gann GD, Jonson J, and Dixon KW (2016) International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts. *Society for Ecological Restoration*, Washington, D.C
- McLaren, K. P., & McDonald, M. A. (2003). The effects of moisture and shade on seed germination and seedling survival in a tropical dry forest in Jamaica. *Forest ecology and management*, 183(1-3), 61-75.
- Mendes da Conceição, G., Ruggieri, A. C., Oliveira Silva, E., Castelo Gomes, E., & Valdesprietto Roche, H. M. (2011). Especies vegetales y síndromes de dispersión del área de protección ambiental municipal de Inhamum, Caxias, Maranhão, Brasil. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2),129-142.
- Méndez, J. A. B., & López, L. G. (2015). Síndromes de dispersión de diásporas de las especies arbustivas y arbóreas de tres tipos de coberturas del Parque Natural Quininí, municipio de Tibacuy, Cundinamarca, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 5(1), 7-15.
- Mendivelso, H. A., Camarero, J. J., Royo Obregon, O., Gutierrez, E., & Toledo, M. (2013). Differential growth responses to water balance of coexisting deciduous tree species are linked to wood density in a Bolivian tropical dry forest. *PLoS One*, 8(10), e73855.
- Mesa-Sierra, N., de la Peña-Domene, M., Campo, J., & Giardina, C. P. (2022). Restoring Mexican Tropical Dry Forests: A National Review. *Sustainability*, 14(7), 3937.
- Metzger, J. P., & Brancalion, P. H. (2013). Challenges and opportunities in applying a landscape ecology perspective in ecological restoration: a powerful approach to shape neolandscapes. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 11(2), 103-107.
- Middleton, B. A., Sanchez-Rojas, E., Suedmeyer, B., & Michels, A. (1997). Fire in a tropical dry forest of Central America: a natural part of the disturbance regime?. *Biotropica*, 515-517.
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V., & Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491-505. 10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x
- Montgomery, R. A., and Chazdon, R. L. (2001). Forest structure, canopy architecture, and light transmittance in tropical wet forests. *Ecology*, 82, 2707–2718.

- Montgomery, R. A., and Chazdon, R. L. (2002). Light gradient partitioning by tropical tree seedlings in the absence of canopy gaps. *Oecologia*, 131, 165–174.
- Mony, C., Uroy, L., Khalfallah, F., Haddad, N., & Vandenkoornhuyse, P. (2022). Landscape connectivity for the invisibles. *Ecography*, 2022(8), e06041.
- Neeraja, U. V., Rajendrakumar, S., Saneesh, C. S., Dyda, V., & Knight, T. M. (2021). Fire alters diversity, composition, and structure of dry tropical forests in the Eastern Ghats. *Ecology and Evolution*, 11(11), 6593-6603.
- Newton, A.C. and Tejedor, N. (2011). Principles and Practice of Forest Landscape Restoration: Case studies from the drylands of Latin America. Gland, Switzerland: IUCN. xxvi + 383 pp.
- Northern Territory Government (2013) Thatch grass (*Hyparrhenia rufa*): NT Weed Risk Assessment Technical Report, Northern Territory Government, Darwin.
- Ocón, J. P., Ibanez, T., Franklin, J., Pau, S., Keppel, G., Rivas-Torres, G. & Gillespie, T. W. (2021). Global tropical dry forest extent and cover: A comparative study of bioclimatic definitions using two climatic data sets. *PloS one*, 16(5), e0252063.
- Olivares-Pérez, J., Rojas-Hernández, S., Quiroz-Cardozo, F., Camacho-Díaz, L. M., Cipriano-Salazar, M., Damián-Valdez, M. A. & Villa-Mancera, A. (2018). Diagnóstico de los usos, la distribución y características dasométricas del árbol cirrián (*Crescentia alata* Kunth) en el municipio de Pungarabato, Guerrero, México. *Polibotánica*, (45), 191-204.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. & Anthony, S. 2009 Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry.
- Otterstrom, S. M., Schwartz, M. W., & Velázquez-Rocha, I. (2006). Responses to fire in selected tropical dry forest trees 1. *Biotropica*, 38(5), 592-598.
- Oviedo, P., Herrera, O., & Caluff, M. G. (2012). National list of invasive and potentially invasive plants in the Republic of Cuba-2011. Bissea: Boletín sobre Conservación de Plantas del Jardín Botánico Nacional de Cuba., 6(Special Issue No. 1), 22-96.
- Paz, H., Pineda-García, F., & Pinzón-Pérez, L. F. (2015). Root depth and morphology in response to soil drought: comparing ecological groups along the secondary succession in a tropical dry forest. *Oecologia*, 179(2), 551–561. <https://doi.org/10.1007/s00442-015-3359-6>
- Pan, J., Sharif, R., Xu, X., & Chen, X. (2021). Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: Research progress and prospects. *Frontiers in Plant Science*, 11, 627331.

- Pennington, R. T., Lehmann, C. E., & Rowland, L. M. (2018). Tropical savannas and dry forests. *Current Biology*, 28(9), R541-R545.
- Pieters, A., & Baruch, Z. (1997). Soil depth and fertility effects on biomass and nutrient allocation in jaraguagrass. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 50(3), 268-273.
- Porrás-Mora, G. (2018). Plan de restauración ecológica en la finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José Costa Rica.
- Portillo-Quintero, C., Sanchez-Azofeifa, A., Calvo-Alvarado, J., Quesada, M., & do Espirito Santo, M. M. (2015). The role of tropical dry forests for biodiversity, carbon and water conservation in the neotropics: lessons learned and opportunities for its sustainable management. *Regional Environmental Change*, 15(6), 1039-1049.
- Powers, J. S. (2019). ¿Serán vulnerables los bosques tropicales secos a los cambios climáticos, y cuáles serán sus efectos sociales?. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(1), 18-23.
- Powers, J. S., Becknell, J. M., Irving, J., & Perez-Aviles, D. (2009). Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 959-970.
- Powers, J. S., Vargas G, G., Brodribb, T. J., Schwartz, N. B., Pérez-Aviles, D., Smith-Martin, C. M., & Medvigy, D. (2020). A catastrophic tropical drought kills hydraulically vulnerable tree species. *Global Change Biology*, 26(5), 3122-3133.
- Prescott, C. E., Katzensteiner, K., & Weston, C. (2021). Soils and restoration of forested landscapes. In *Soils and landscape restoration* (pp. 299-331). Academic Press, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos.
- Prestes, N. C. C. D. S., Massi, K. G., Silva, E. A., Nogueira, D. S., de Oliveira, E. A., Freitag, R., ... & Feldpausch, T. R. (2020). Fire effects on understory forest regeneration in southern Amazonia. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 10.
- Restrepo, Luis F, L Posada, Sandra, & R Noguera, Ricardo. (2012). Aplicación del análisis por componentes principales en la evaluación de tres variedades de pasto. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(2), 258-266.
- Rhodes, A. C., Plowes, R. M., Goolsby, J. A., Gaskin, J. F., Musyoka, B., Calatayud, P. A. & Gilbert, L. E. (2021). The dilemma of Guinea grass (*Megathyrsus maximus*): a valued pasture grass and a highly invasive species. *Biological Invasions*, 23(12), 3653-3669.
- Rhodes, A. C., Plowes, R. M., Lawson, J. R., & Gilbert, L. E. (2022). Guinea Grass Establishment in South Texas Is Driven by Disturbance History and Savanna Structure. *Rangeland Ecology & Management*, 83, 124-132.

- Rhodes, R., Miles, N., & Hughes, J. C. (2018). Interactions between potassium, calcium and magnesium in sugarcane grown on two contrasting soils in South Africa. *Field Crops Research*, 223, 1-11.
- Rigg Aguilar, P. (2013). Propuesta de línea base del plan de ordenamiento forestal para la Estación Experimental Forestal Horizontes, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica (Doctoral dissertation).
- Rodríguez, J.E., Formoso, C., Cabezas, F. & Matamoros, Y. (Eds). 2020. A Selection of Native Plants with Ornamental Potential for Use in Urban and Rural Habitats: An Ex situ Conservation Assessment. Parque Zoológico y Jardín Botánico Nacional Simón Bolívar, San José, Costa Rica. Conservation Planning Specialist Group UICN SSC (CPSG Mesoamerica).
- Rojas-Sandoval, J. and Acevedo-Rodríguez, P. (2022) ‘*Hyparrhenia rufa* (Jaragua grass)’, CABI Compendium. CABI International. doi: 10.1079/cabicompendium.27716.
- Rojas-Sandoval, J. and Acevedo-Rodríguez, P. (2022). ‘*Calopogonium mucunoides* (calopo)’, CABI Compendium. CABI International. doi: 10.1079/cabicompendium.14060.
- Rojas-Sandoval, J., Meléndez-Ackerman, E. J., & Anglés-Alcázar, D. (2016). Assessing the impact of grass invasion on the population dynamics of a threatened Caribbean dry forest cactus. *Biological Conservation*, 196, 156-164.
- Schilling, E. M., Waring, B. G., Schilling, J. S., & Powers, J. S. (2016). Forest composition modifies litter dynamics and decomposition in regenerating tropical dry forest. *Oecologia*, 182(1), 287-297.
- Schmidt, L., Musokony, C., Meke, G., (2008). Tree species for cracking clay soils. *Development Briefs. Technical*.
- Schweizer, S. (2010). Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. INTA-MAG, San José Costa Rica, 19 p.
- Silva de Miranda, P. L., Oliveira-Filho, A. T., Pennington, R. T., Neves, D. M., Baker, T. R., & Dexter, K. G. (2018). Using tree species inventories to map biomes and assess their climatic overlaps in lowland tropical South America. *Global ecology and biogeography*, 27(8), 899-912.
- Singh, K. P., & Kushwaha, C. P. (2005). Emerging paradigms of tree phenology in dry tropics. *Current Science*, 964-975.

- Siyum, Z. G. (2020). Tropical dry forest dynamics in the context of climate change: syntheses of drivers, gaps, and management perspectives. *Ecological Processes*, 9(1), 1-16.
- Spittler, P. (2001). Potencial de manejo de los bosques secundarios en la zona seca del noroeste de CR. Alemania: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH Postfach 5180 D-65726.
- Stan, K., & Sanchez-Azofeifa, A. (2019). Tropical Dry Forest Diversity, Climatic Response, and Resilience in a Changing Climate. *Forests*, 10(5), 443. 10.3390/f10050443
- Stern, M., Quesada, M., & Stoner, K. E. (2002). Changes in composition and structure of a tropical dry forest following intermittent cattle grazing. *Revista de biología tropical*, 50(3- 4), 1021-1034.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., & With, K. A. (2006). Landscape connectivity: a return to the basics. *CONSERVATION BIOLOGY SERIES-CAMBRIDGE-*, 14, 29.
- The International Plant Names Index and World Checklist of Vascular Plants 2022. Published on the Internet at <http://www.ipni.org> and <https://powo.science.kew.org/>
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., ... & Bozzano, M. (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, 333, 66-75.
- Tscharntke, T., Tylianakis, J. M., Rand, T. A., Didham, R. K., Fahrig, L., Batáry, P., & Westphal, C. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. *Biological reviews*, 87(3), 661-685.
- Umaña, W. P., & Chaves, C. C. (2014). El bosque seco en llamas. Estructura agraria y ecología política del fuego en Costa Rica. *Revista de Historia*, (70), 109-142.
- Valdés Restrepo, M. P., Ortiz Grisales, S., & Sánchez, T. (2010). Plant morphology, yield and quality of sagú starch. *Acta Agronómica*, 59(3), 372-380.
- Valverde-Rodríguez, K., Morales, C. O., & García, E. G. (2019). Germinación de semillas de *Crescentia alata* (Bignoniaceae) en distintas condiciones de temperatura, luminosidad y almacenamiento. *Revista de Biología Tropical*, 67(2), 120-131.
- Van der Pijl L. (1972). Principles of Dispersal in Higher Plants. New York: Springer-Verlag. eBook ISBN: 978-3-642-96108- 3; DOI: 10.1007/978-3-642-96108-3
- Vargas-Sanabria, D., & Campos-Vargas, C. (2020). Multitemporal comparison of burned areas in a tropical dry forest using the burned area index (BAI). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(41), 29-36.
- Vargas-Ulate, G. 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*.

- Verma, S., Singh, D., Mani, S., & Jayakumar, S. (2017). Effect of forest fire on tree diversity and regeneration potential in a tropical dry deciduous forest of Mudumalai Tiger Reserve, Western Ghats, India. *Ecological Processes*, 6, 1-8.
- Vieira, D. L., & Scariot, A. (2006). Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration ecology*, 14(1), 11-20.
- Werden, L. K., Calderón-Morales, E., Alvarado J, P., Gutiérrez L, M., Nedveck, D. A., & Powers, J. S. (2020). Using large-scale tropical dry forest restoration to test successional theory. *Ecological Applications*, 30(6), e02116.
- Werden, L. K., Alvarado J, P., Zarges, S., Calderón M, E., Schilling, E. M., Gutiérrez L, M., & Powers, J. S. (2018a). Using soil amendments and plant functional traits to select native tropical dry forest species for the restoration of degraded Vertisols. *Journal of Applied Ecology*, 55(2), 1019-1028.
- Werden, L. K., Waring, B. G., Smith-Martin, C. M., & Powers, J. S. (2018b). Tropical dry forest trees and lianas differ in leaf economic spectrum traits but have overlapping water-use strategies. *Tree Physiology*, 38(4), 517-530.
- Wilson, S., Zahawi, R., Alexandre, N., Celenteno, D., Holl, K., Sprenkle, S., Reid, Leighton & Werden, L. (2021). Applied nucleation restoration guide for tropical forests. Conservación Internacional, Estados Unidos.
- Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F., & Guo, S. (2021). Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal*, 9(2), 249-256.
- Yue, M. F., Zhou, R. C., Huang, Y. L., Xin, G. R., Shi, S. H., & Feng, L. (2010). Genetic diversity and geographical differentiation of *Desmodium triflorum* (L.) DC. in south China revealed by AFLP markers. *Journal of Plant Biology*, 53(2), 165-171.

10. ANEXOS

Anexo 1. Entrevistas aplicadas con la finalidad de conocer el historial de uso del sitio Las Mesas.

Entrevista n°1.

Nombre: Milena Gutiérrez Leitón Contacto: milena.gutierrez@sinac.go.cr

- ¿A partir de qué año inició a laborar en la EEFH?

1989

- ¿Conoce el sitio denominado las Mesas y sus alrededores?

Sí. Colinda al noreste con una finca privada propiedad de la Señora Antonia Medina, al sureste y sur con otras áreas de la EEFH conocidas como El Pedregal y el Saltillo. Al oeste con el Saltillo y al norte con el Sitio conocido como San Pancho.

- ¿Recuerda la fecha (a un aproximado) en que visitó el sitio “Las Mesas”?

Conozco desde 1997 y creo que mi última visita fue en el verano del 2020.

- ¿Cómo era el sitio en su momento? En cuanto a cobertura, uso

Cuando llegué era un área de pastoreo, con gran cantidad de pasto jaragua, poco a poco fuimos reduciendo la carga animal en el sitio en función del control de combustible (como parte de las acciones de manejo del fuego) hasta que habíamos eliminado por completo el uso ganadero en el sitio. No omito manifestar que aún quedaban algunos sitios con pasto, especialmente asociados a los suelos vertisoles que dominan el sitio, pero que debido a que la regeneración del bosque ya estaba bien avanzada en la mayoría de los sitios que componen esta área, se tomó la decisión de evitar en adelante el ingreso de ganado.

- ¿Tiene idea de cuál era el uso del sitio antes de que formara parte de la EEFH?

Me parece que ganadería y en algunos momentos y sitios el cultivo de arroz. Pero esto es mejor que lo pueda indicar Ronald Castro o Félix Carmona, pues ellos sí estuvieron durante los primeros años de existencia de la Estación.

- ¿Ha cambiado el sitio “Las Mesas”?

Pues sí. Durante el tiempo que estuve en la Estación logré ver los avances en la regeneración del bosque, a pesar de tener suelos con tantas limitantes.

- ¿Cuál es el principal tipo de vegetación del sitio?

Bosque Secundario (con diferentes estadios sucesionales) en primer lugar y algunos pastizales arbolados en segundo lugar.

- ¿Ha observado cambios en la vegetación con el tiempo?

Sí. En composición y crecimiento vertical. Ahora son bosques más diversos y con mejor estructura vertical.

- ¿Puede mencionar cuáles han sido esos cambios?

Más biodiversidad, mejor estructura vertical, mejor composición florística (las especies deciduas han ido retrocediendo, para dar paso a las siempreverdes).

- ¿Han ocurrido eventos como incendios en el sitio?

Sí. Recuerdo al principio de mi llegada a la Estación recuerdo una vez que se quemó casi todo el sitio. Posteriormente, en otros años, teníamos algunos fuegos recurrentes en el límite con la finca el Jobo (propiedad de Antonia Medina). Que, justamente, al ser

recurrentes causaron la degradación del bosque y el retroceso de este a pastizal nuevamente en esas áreas más cercanas al límite de las propiedades.

- ¿Ha observado fauna en el sitio o en sus alrededores más próximos?

Sí. Muchas aves como trogones, pavas, zopilote rey, reinitas, loras y pericos. También logré ver guatusas, monos, coyotes y la huella de algunos felinos.

- ¿Conoce usted cuál ha sido el interés de la estación hacia el sitio?

Por las limitantes de suelo y de acuerdo con el Plan de Manejo se había pensado que el sitio se podía utilizar para manejo sostenible de bosques y regeneración. Sin embargo, debido a las necesidades financieras del Programa y la Estación, por el momento se había sometido a PSA (protección y regeneración).

Sin embargo, creo que hay que evaluar, con la elaboración del nuevo Plan de Manejo (PM, me imagino que ya se está pensando en eso), si este uso se va a mantener o si ya es posible realizar algunas de las acciones que se habían planteado en el PM del sitio.

- ¿Cuándo fue la última ocasión en que se dio el ingreso de ganado en el sitio “Las Mesas”?

Esto no lo conozco. Durante mi administración, ya el sitio no estaba autorizado para el uso de ganado, creo que desde 2003 o 2004 aproximadamente. Pero no puedo dar información de los últimos dos años. Igualmente, creo que se puede preguntar a Ronald, Félix o David sobre este tema.

Entrevista n°2.

- Nombre: Ronald Castro Miranda
Contacto: rocamiranda62@gmail.com/ 8609-3650
- ¿A partir de qué año inició a laborar en la EEFH? 6 de marzo de 1989
- ¿Vive en las cercanías de la EEFH o en la cercanía del sector noreste de la estación?

No habita cerca de la estación

- ¿Conoce el sitio denominado las Mesas y sus alrededores?

Sí, el sitio limita con:

Sampancho: está bordeando Las Mesas al Norte Al Sur Pedregal: tiene un camino al centro

Al este: hay una finca privada

Al oeste: El Zonzocuitle— árboles muy densos, ha sido un bosque secundario, con árboles remanentes.

En la finca colindante Ganadería no intensiva, hay una parte de bosque sometida a PSA. En la finca La Casa del Búho, hay un Bosque remanente, a orillas de la quebrada. Ambas colindan al este con Las Mesas.

Otra de las fincas es de ganadería intensiva.

- ¿Recuerda la fecha (a un aproximado) en que visitó el sitio “Las Mesas”?

Desde 1989, desde el 90 lo conoce más de cerca desde de 1992.

- ¿Cómo era el sitio en su momento?

En cuanto a cobertura, uso durante los 90's y anteriormente había ganado. Al lado norte del potrero habíamos muchos zacatales había guinea, aparte de jaragua.

- ¿Tiene idea de cuál era el uso del sitio antes de que formara parte de la EEFH?

Durante los 90's y anteriormente había ganado.

- ¿Ha cambiado el sitio "Las Mesas"?

Después del incendio, en el 2012, se ha recuperado un poco, no tanto como los alrededores. Arriba (Las Mesas es muy plano) parte de Sampancho, ya casi no hay ganado.

Se hizo un ensayo en Sampancho luego del incendio, se ha regenerado por sí solo y hay un huerto clonal.

Quebrada el saltillo en Sampancho, en verano quedan algunas pozas (cuerpos de agua estacionales)

- ¿Cuál es el principal tipo de vegetación del sitio?

Arbustos, indio desnudo, guácimo, poro poro, cortez amarillo, cortez negro, guanacaste, cedro amargo, cornizuelo, aramo, *Casearia*, *Trichilia*, cerillo.

En Las Mesas hay muchas piedras, hay partes con zonzocuite.

- ¿Ha observado cambios en la vegetación con el tiempo?

Sampancho se ha regenerado, crecimiento rápido de la vegetación. En Las Mesas ha habido incendios, se ven más árboles, más que todo guácimo, poro poro.

- ¿Puede mencionar cuáles han sido esos cambios?

Hay más árboles, después del incendio el pasto se restableció. No se hizo nada, se dejó que actuara la recuperación

- ¿Han ocurrido eventos como incendios en el sitio?

El último evento de fuego fue hace 10 años 2012 (abarcó toda el área), incluso abarcó más de esa área.

Árboles caídos por el viento, poro poro, árboles grandes, *Lonchocarpus* sp., con lapasada de tormentas con vientos, huracán Otto.

- ¿Ha observado fauna en el sitio o en sus alrededores más próximos?

Dantas, felinos (puma), venados, saínos, muchas aves (pavas, rapaces) Danta se observa con más frecuencia, huella de felino y dantas.

La danta sí se ha observado con mayor frecuencia.

- ¿Conoce usted cuál ha sido el interés de la estación hacia el sitio?

Recuperar, cuidar de los incendios forestales y tener mayor recuperación del bosque.

- ¿Cuándo fue la última ocasión en que se dio el ingreso de ganado en el sitio “Las Mesas”?

La última ocasión que se metió ganado en las Mesas fue 2005.

Entrevista n°3

Nombre: Félix Carmona Medrano

Contacto: ACG

- ¿A partir de qué año inició a laborar en la EEFH?

Oficialmente en 1993, pero conocí la Estación en 1989.

- ¿Conoce el sitio denominado las Mesas y sus alrededores?

Sí.

- ¿Recuerda la fecha (a un aproximado) en que visitó el sitio “Las Mesas”?

Desde que llegué en 1989 por asuntos de incendios forestales.

- ¿Cómo era el sitio en su momento?

En cuanto a cobertura, usaban muchos pastizales, muy pocos árboles.

- ¿Tiene idea de cuál era el uso del sitio antes de que formara parte de la EEFH?

Ganadería extensiva.

- ¿Ha cambiado el sitio “Las Mesas”?

En los últimos 10 años sí

- ¿Cuál es el principal tipo de vegetación del sitio?

Pasto jaragua

- ¿Ha observado cambios en la vegetación con el tiempo?

Las Mesas es un sitio que está rodeado por bosque secundario y el efecto de bordeha ayudado a que haya más especies.

- ¿Puede mencionar cuáles han sido esos cambios?

Se han formado pequeñas islas con árboles como guácimo y eso ha ayudado mucho.

- ¿Han ocurrido eventos como incendios en el sitio?

Muchos incendios.

- ¿Ha observado fauna en el sitio o en sus alrededores más próximos?

Venados, aves, dantas.

- ¿Conoce usted cuál ha sido el interés de la estación hacia el sitio?

Restauración, protección contra los incendios.

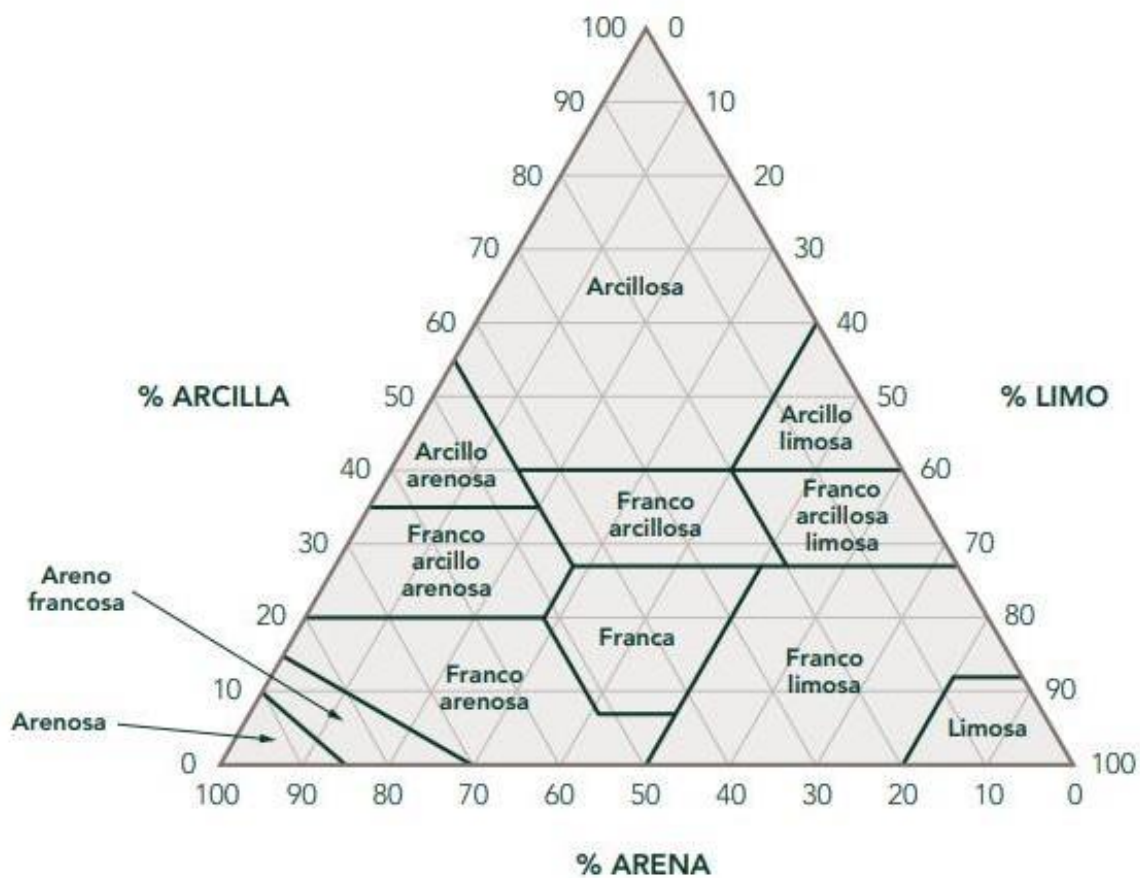
- ¿Cuando fue la última ocasión en que se dio el ingreso de ganado en el sitio “Las Mesas”?

Fue en el año 2005.

Anexo 2. Tipología de las imágenes satelitales adquiridas para la fotointerpretación y caracterización de los cambios históricos en el uso del suelo del sitio Las Mesas.

Año	Imagen	Fecha de detección	Resolución espacial (m)	Preprocesamiento	Fuente de descarga
1974	Landsat 1	28 de Febrero 1974	80	Corrección radiométrica Corrección atmosférica Máscara de nubes	Earth Explorer, USGS.
1989	Landsat 5	22 de Diciembre 1989	30	Corrección radiométrica Corrección atmosférica Máscara de nubes	Earth Explorer, USGS.
2005	Landsat 7	24 de Noviembre 2005	30	Corrección radiométrica Corrección atmosférica Máscara de nubes	Earth Explorer, USGS.
2012	Landsat 7	16 de Marzo 2012	30	Corrección radiométrica Corrección atmosférica Máscara de nubes	Earth Explorer, USGS.
2022	Sentinel 2A	22 de Junio 2022	10	Máscara de nubes	Copernicus Open Acces Hub, ESA.

Anexo 3. Triángulo Textural (USDA, 1977).



Anexo 4. Valores obtenidos para las variables de pendiente, resistencia mecánica y profundidad efectiva para el sitio Las Mesas y los sitios en comparación (BS, LAG y SAR).

Parcela	Pendiente	Resistencia mecánica (PSI)	Condición de crecimiento	Profundidad efectiva (cm)
P1_LM	0	190	Buena	30
P2_LM	0	280	Regular	30
P3_LM	-1	250	Regular	60
P4_LM	0	280	Regular	80
P5_LM	-5	200	Regular	40
P6_LM	0	230	Regular	25
P7_LM	1	200	Regular	30
P8_LM	2	250	Regular	20
P9_LM	-3	200	Regular	20
P10_LM	-1	250	Regular	65
P11_LM	-1	200	Regular	20
P12_LM	0	250	Regular	20
P13_LM	-2	200	Regular	40
P14_LM	6	250	Regular	30
P15_LM	5	200	Buena	30
P16_LM	1	250	Regular	60
P17_LM	0	200	Buena	30
P18_LM	0	300	Mala	30
P1_1_BS	+2	120	Buena	50
P1_2_BS	+1	250	Regular	40
P1_3_BS	+1	370	Mala	70
P1_4_BS	+2	150	Buena	60
P1_5_BS	0	200	Regular	40
P1_6_BS	+2	200	Regular	40
P1_7_BS	0	185	Buena	60
P1_8_BS	-2	180	Buena	50
P2_1_BS	+5	150	Buena	40
P2_2_BS	+5	150	Buena	60
P2_3_BS	+1	200	Regular	50
P2_4_BS	+2	250	Regular	50
P2_5_BS	-5	200	Regular	40
P2_6_BS	-2	250	Regular	40
P2_7_BS	0	180	Buena	40
P2_8_BS	+1	150	Buena	60

Anexo 5. Valores obtenidos para las variables de pendiente, resistencia mecánica y profundidad efectiva para el sitio Las Mesas y los sitios en comparación (BS, LAG y SAR).*(Continuación)*.

Parcela	Pendiente	Resistencia mecánica (PSI)	Condición de crecimiento	Profundidad efectiva (cm)
P1_1_LAG	4	175	Buena	50
P1_2_LAG	7	175	Buena	50
P1_3_LAG	10	250	Regular	50
P1_4_LAG	5	200	Regular	50
P1_5_LAG	4	250	Regular	60
P1_6_LAG	7	250	Regular	50
P1_7_LAG	10	200	Regular	60
P1_8_LAG	5	200	Regular	50
P2_1_LAG	5	300	Mala	40
P2_2_LAG	-10	250	Regular	40
P2_3_LAG	-4	250	Regular	30
P2_4_LAG	0	300	Mala	50
P2_5_LAG	-3	300	Mala	30
P2_6_LAG	0	250	Regular	40
P2_7_LAG	-1	300	Mala	40
P2_8_LAG	1	250	Regular	30
P1_1_SAR	+5	300	Mala	60
P1_2_SAR	+7	150	Buena	40
P1_3_SAR	-3	60	Buena	55
P1_4_SAR	+5	300	Mala	58
P1_5_SAR	+5	200	Regular	35
P1_6_SAR	+6	100	Buena	35
P1_7_SAR	+9	150	Buena	60
P1_8_SAR	+9	300	Mala	44
P2_1_SAR	0	150	Buena	40
P2_2_SAR	0	300	Mala	58
P2_3_SAR	+5	200	Regular	40
P2_4_SAR	-2	300	Mala	40
P2_5_SAR	+5	200	Regular	50
P2_6_SAR	+6	150	Buena	40
P2_7_SAR	+5	200	Regular	40
P2_8_SAR	+6	300	Mala	50

Anexo 6. Valores obtenidos para la variable densidad aparente para el sitio Las Mesas y los sitios en comparación (BS, LAG y SAR).

Parcela	Densidad aparente (g/cm³)
P1_LM	0,94
P2_LM	0,77
P3_LM	0,84
P4_LM	1,14
P5_LM	2,43
P6_LM	1,23
P7_LM	0,72
P8_LM	1,24
P9_LM	1,25
P10_LM	0,97
P11_LM	0,99
P12_LM	0,90
P13_LM	0,97
P14_LM	1,11
P15_LM	0,64
P16_LM	1,43
P17_LM	1,01
P18_LM	0,79
P1_1_BS	0,89
P1_2_BS	0,91
P2_1_BS	0,71
P2_2_BS	0,77
P1_1_LAG	1,04
P1_2_LAG	0,86
P2_1_LAG	0,97
P2_2_LAG	0,94
P1_1_SAR	1,03
P1_2_SAR	1,05
P2_1_SAR	1,55
P2_2_SAR	1,02

Anexo 7. Coordenadas en el Sistema de Proyección CRTM05 para cada una de las parcelas establecidas en el sitio LM así como para las parcelas permanentes preexistentes en BS, LAG y SAR.

Parcela	X	Y
LM_1	325997,026	1187315,592
LM_2	326097,026	1187115,592
LM_3	326097,026	1186915,592
LM_4	326197,026	1187115,592
LM_5	326297,026	1187515,592
LM_6	326297,026	1187415,592
LM_7	326397,026	1187415,592
LM_8	326497,026	1187415,592
LM_9	326597,026	1187215,592
LM_10	326697,026	1187915,592
LM_11	326797,026	1187715,592
LM_12	326797,026	1187415,592
LM_13	326897,026	1188015,592
LM_14	327097,026	1188015,592
LM_15	327197,026	1187815,592
LM_16	327297,026	1188015,592
LM_17	327497,026	1188015,592
LM_18	327597,026	1188115,592
BS_1	324900,0000	1184462,0000
BS_2	324900,0000	1184242,0000
LAG_1	328425,0000	1185967,0000
LAG_2	328432,0000	1186100,0000
SAR_1	329572,0000	1187286,0000
SAR_2	329577,0000	1187113,0000

Anexo 8. Resultados obtenidos del Análisis Químico Completo de suelos.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIA Centro de
Investigaciones
Agronómicas

CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V3)

Nº DE REPORTE: **83088**
USUARIO: NICOLE AGUILAR ROMAN

RESPONSABLE: NICOLE AGUILAR ROMAN
CORREO: anico.na68@gmail.com
TELÉFONO: 8358-5608

PROVINCIA: GUANACASTE
CANTÓN: LIBERIA

ANÁLISIS: QC,CN
FECHA RECEPCIÓN: 09/09/2022
EMISIÓN DE REPORTE: 03/10/2022
Nº DE MUESTRAS TOTAL: 30
PÁGINA: 1/4

CULTIVO: BOSQUE SECUNDARIO
ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS													
Solución Extractora:		pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
KCl-Olsen Modificado		H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
P1 20 LM	S-22-06728	6,2	0,12	11,33	3,46	0,68	15,59	0,8	ND	2,1	9	37	40
P1 30 LM	S-22-06729	6,1	0,10	10,76	3,69	0,66	15,21	0,7	ND	2,0	11	52	30
P2 20 LM	S-22-06730	6,2	0,07	21,22	8,86	0,24	30,39	0,2	ND	2,1	10	17	28
P2 30 LM	S-22-06731	6,5	0,07	22,83	9,41	0,13	32,44	0,2	ND	1,4	10	11	10
P3 20 LM	S-22-06732	6,0	0,10	12,69	5,50	0,18	18,47	0,5	ND	1,8	11	71	19
P3 30 LM	S-22-06733	6,3	0,10	14,37	6,82	0,15	21,44	0,5	ND	1,6	10	52	15
P4 20 LM	S-22-06734	5,8	0,10	13,35	5,57	0,30	19,32	0,5	ND	2,0	9	93	17
P4 40 LM	S-22-06735	6,7	0,10	27,73	16,04	0,18	44,05	0,2	ND	1,4	8	11	4
P5 20 LM	S-22-06736	6,2	0,10	16,90	7,09	0,40	24,49	0,4	ND	2,1	10	70	21
P5 40 LM	S-22-06737	6,6	0,08	18,58	7,95	0,24	26,85	0,3	ND	1,4	8	30	6
P6 20 LM	S-22-06738	6,1	0,10	19,99	9,73	0,15	29,97	0,3	ND	1,5	8	17	13
P7 20 LM	S-22-06739	6,3	0,08	23,32	11,37	0,17	34,94	0,2	ND	0,9	11	13	15
P7 30 LM	S-22-06740	6,4	0,09	15,93	6,47	0,13	22,62	0,4	ND	0,7	10	45	14
P8 20 LM	S-22-06741	6,3	0,07	14,70	6,24	0,18	21,19	0,3	ND	1,3	12	85	16
P9 20 LM	S-22-06742	6,2	0,10	24,88	13,71	0,44	39,13	0,3	ND	1,4	8	15	12

ULTIMA LINEA

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada

CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez/Ca+Mg+K

SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)*100

ND= No detectado.

B.Q. Marianela Blanco M.
N.I. 2468
Gestoría de Calidad

Ing. Agr. Michael González A.
N.I. 7827
Gestoría Técnica

1. Las unidades están expresadas en base seca, en masa/v. 2. Procedimiento: pH y CE en agua 10:25; Acidez, Al, Ca y Mg con KCl 1M 1:10; P, K, Zn, Fe, Mn y Cu con Olsen Modificado pH 8,5 (NaClO₄ 0,5 N, EDTA 0,01M, Succinato 127) 1:10; B y S con Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 0,008M 10:25. ~~Acidez detectada por valoración con NaOH y Al con HCl; P y S por Colorimetría con el colorador de absorción de Fijio (FIA) y el resto de los elementos por Espectrofotometría de Absorción Atómica.~~ C y N totales por combustión seca en ~~colorimetría.~~ 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo con validez es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.



CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO

RE-R01 (V3)

Nº DE REPORTE: **83088**
USUARIO: NICOLE AGUILAR ROMAN

RESPONSABLE: NICOLE AGUILAR ROMAN
CORREO: anico.na68@gmail.com
TELÉFONO: 8358-5608

PROVINCIA: GUANACASTE
CANTÓN: LIBERIA

CULTIVO: BOSQUE SECUNDARIO

ANÁLISIS: QC-CN
FECHA RECEPCIÓN: 09/09/2022
EMISIÓN DE REPORTE: 03/10/2022
Nº DE MUESTRAS TOTAL: 30
PÁGINA: 3/4

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS													
Solución Extractora:		pH	cmol(+) / L					%	mg/L				
KCl-Olsen Modificado		H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
P10 20 LM	S-22-06743	6,5	0,10	27,42	10,99	0,44	38,95	0,3	ND	0,7	14	13	10
P10 40 LM	S-22-06744	6,6	0,08	27,78	11,64	0,24	39,74	0,2	ND	0,4	13	10	5
P11 20 LM	S-22-06745	6,0	0,10	10,75	4,08	0,17	15,10	0,7	ND	0,9	17	195	25
P11 40 LM	S-22-06746	5,6	0,10	8,30	3,16	0,27	11,83	0,8	ND	0,3	14	150	15
P12 20 LM	S-22-06747	6,0	0,10	11,44	3,79	0,78	16,11	0,6	ND	4,4	9	92	33
P13 20 LM	S-22-06748	6,0	0,11	17,40	8,80	0,21	26,52	0,4	ND	0,8	13	42	16
P13 40 LM	S-22-06749	6,5	0,08	21,38	10,38	0,14	31,98	0,3	ND	0,5	11	16	7
P14 20 LM	S-22-06750	6,1	0,10	13,17	5,37	0,16	18,80	0,5	ND	0,7	13	88	21
P14 30 LM	S-22-06751	6,0	0,10	13,70	5,80	0,25	19,85	0,5	ND	0,3	12	83	16
P15 20 LM	S-22-06752	5,9	0,10	11,88	3,52	0,37	15,87	0,6	1	2,1	8	171	34
P15 30 LM	S-22-06753	6,0	0,09	10,80	3,28	0,35	14,52	0,6	1	1,2	7	115	32
P16 20 LM	S-22-06754	6,1	0,10	23,76	10,43	0,19	34,48	0,3	1	1,4	10	13	15
P17 20 LM	S-22-06755	5,7	0,10	9,62	3,58	0,24	13,54	0,7	ND	1,4	20	320	20
P17 40 LM	S-22-06756	5,9	0,09	8,79	3,35	0,18	12,41	0,7	ND	0,8	14	224	18
P18 20 LM	S-22-06757	6,4	0,08	16,30	5,97	0,57	22,92	0,3	ND	1,7	9	25	38

ULTIMA LINEA

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada

CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva= $\frac{\text{Acidez} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}}{\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}}$

SA=Porcentaje de Saturación de Acidez= $\frac{\text{Acidez}}{\text{CICE}} \times 100$

ND= No detectado.

B.Q. Maríanela Blanco M.
N.I. 2468

Gestoría de Calidad

Ing. Agr. Michael González A.
N.I. 7827

Gestoría Técnica

1. Las unidades están expresadas en base seca, en masa/v. 2. Procedimiento: pH y CE en agua 10:25; Acidez, Al, Ca y Mg con KCl 1M 1:10; B, S, Zn, Fe, Cu y Cu con Olsen Modificado pH 8,5 (NaOH 0,5 N, EDTA 0,01M, Succinyl 127) 1:10; B y S con Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 0,008M 10:25. Acidez determinada por valoración con NaOH y Al con HCl; P y S por Colorimetría con el Analizador de Inyección de Flujo (FIA) y el resto de los elementos por Espectrofotometría de Absorción Atómica. C y N foliares por combustión seca en ~~Autoparalelador~~. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo con validez es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.



CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V3)

N° DE REPORTE: **83088**
USUARIO: NICOLE AGUILAR ROMAN

RESPONSABLE: NICOLE AGUILAR ROMAN
CORREO: anico.na68@gmail.com
TELÉFONO: 8358-5608

PROVINCIA: GUANACASTE
CANTÓN: LIBERIA

CULTIVO: BOSQUE SECUNDARIO

ANÁLISIS: QC,CN
FECHA RECEPCION: 09/09/2022
EMISIÓN DE REPORTE: 03/10/2022
N° DE MUESTRAS TOTAL: 30
PÁGINA: 4/4

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS					
ID USUARIO	ID LAB	mS/cm	%		Relación
		CE 1,5	C	N	C/N
P10 20 LM	S-22-06743	0,1	2,44	0,17	14,4
P10 40 LM	S-22-06744	0,1	1,93	0,13	14,8
P11 20 LM	S-22-06745	0,1	2,64	0,24	11,0
P11 40 LM	S-22-06746	0,1	2,46	0,28	9,5
P12 20 LM	S-22-06747	0,2	3,28	0,31	10,6
P13 20 LM	S-22-06748	0,1	1,78	0,16	11,1
P13 40 LM	S-22-06749	0,1	0,99	0,11	9,0
P14 20 LM	S-22-06750	0,1	1,51	0,14	10,8
P14 30 LM	S-22-06751	0,1	2,87	0,25	11,5
P15 20 LM	S-22-06752	0,1	1,83	0,19	9,6
P15 30 LM	S-22-06753	0,1	1,09	0,14	7,8
P16 20 LM	S-22-06754	0,1	2,79	0,18	15,5
P17 20 LM	S-22-06755	0,1	1,88	0,16	10,5
P17 40 LM	S-22-06756	0,1	1,27	0,13	9,8
P18 20 LM	S-22-06757	0,1	3,31	0,27	12,3

-----ULTIMA LINEA-----

OBSERVACIÓN: El % C y N totales se determinaron con el ~~Autocalificador~~ de C/N por combustión seca. Los valores de % C total correlacionan muy bien (R2=0,95) con el % de MO. Si quiere estimar el valor del % MO a partir del dato de % C total determinado con esta metodología, multiplique el % C total por 1,43.

B.Q. Marianela Blanco M.
N.I. 2468

Ing. Agr. Michael González A.
N.I. 7827

1. El muestreo es responsabilidad del usuario. 2. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 3. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 4. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.



CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V3)

N° DE REPORTE: **83089**
USUARIO: NICOLE AGUILAR ROMAN

RESPONSABLE: NICOLE AGUILAR ROMAN
CORREO: anico.na68@gmail.com
TELEFONO: 8358-5608

PROVINCIA: GUANACASTE
CANTON: LIBERIA

CULTIVO: BOSQUE SECUNDARIO

ANÁLISIS: QC,CN
FECHA RECEPCIÓN: 09/09/2022
EMISIÓN DE REPORTE: 03/10/2022
N° DE MUESTRAS TOTAL: 7
PÁGINA: 1/2

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS													
Solución Extractora:		pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
KCI-Olsen Modificado		H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
P18 30 LM	S-22-06758	6,1	0,10	14,03	5,84	0,38	20,35	0,5	ND	1,3	13	26	30
ZAR 20	S-22-06759	6,3	0,09	13,84	3,75	0,76	18,44	0,5	ND	2,1	5	35	20
ZAR 40	S-22-06760	6,1	0,10	11,40	3,34	0,67	15,51	0,6	ND	1,5	9	65	21
BS 20	S-22-06761	6,4	0,10	15,29	3,92	0,83	20,14	0,5	ND	2,0	6	23	23
BS 40	S-22-06762	6,2	0,10	13,00	4,22	0,86	18,18	0,6	ND	2,8	8	30	32
LAG 20	S-22-06763	6,5	0,10	13,04	4,04	0,97	18,15	0,6	ND	1,4	9	19	19
LAG 40	S-22-06764	6,6	0,08	14,55	3,85	1,17	19,65	0,4	ND	1,7	4	15	11

ULTIMA LINEA

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada

CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez/Cat.Moz/K. SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)*100

ND= No detectado|

B.Q. Mafiana Blanco M.
N.I. 2468
Gestoría de Calidad

Ing. Agr. Michael González A.
N.I. 7827
Gestoría Técnica

1. Las unidades están expresadas en base seca, en masa/v. 2. Procedimiento: pH y CE en agua 10:25; Acidez, Al, Ca y Mg con KCI 1M 1:10; P, K, Zn, Fe, Mn y Cu con Olsen Modificado pH 8,5 (NaHCO₃ 0,5 N, EDTA 0,01M, Superloc 127) 1:10; B y S con Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 0,008M 10:25. Acidez determinada por valoración con NaOH y Al con HCl; P y S por Colorimetría con el Analizador de Inyección de Flujo (FIA) y el resto de los elementos por Espectrofotometría de Absorción Atómica. C y N totales por combustión seca en Autoanalizador. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo con validez es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V3)

Nº DE REPORTE: 83089
USUARIO: NICOLE AGUILAR ROMAN
RESPONSABLE: NICOLE AGUILAR ROMAN
CORREO: anico.na68@gmail.com
TELÉFONO: 8358-5608
PROVINCIA: GUANACASTE
CANTÓN: LIBERIA
CULTIVO: BOSQUE SECUNDARIO

ANÁLISIS: OC-CN
FECHA RECEPCIÓN: 09/09/2022
EMISIÓN DE REPORTE: 03/10/2022
Nº DE MUESTRAS TOTAL: 7
PÁGINA: 2/2

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS					
ID USUARIO	ID LAB	mS/cm	%		Relación
		CE	C	N	C/N
		1,5			
P18 30 LM	S-22-06758	0,1	2,59	0,22	11,8
ZAR 20	S-22-06759	0,2	3,43	0,32	10,7
ZAR 40	S-22-06760	0,1	2,14	0,22	9,7
BS 20	S-22-06761	0,2	3,75	0,36	10,4
BS 40	S-22-06762	0,2	2,41	0,25	9,6
LAG 20	S-22-06763	0,1	1,84	0,19	9,7
LAG 40	S-22-06764	0,3	3,21	0,31	10,4

-----ÚLTIMA LINEA-----

OBSERVACIÓN: El % C y N totales se determinaron con el Autoanalizador de C/N por combustión seca. Los valores de % C total correlacionan muy bien (R2=0,95) con el % de MO. Si quiere estimar el valor del % MO a partir del dato de % C total determinado con esta metodología, multiplique el % C total por 1,43.



B.Q. Mariana Blanco M.
N.I. 2468
Gestoría de Calidad



Ing. Agr. Michael González A.
N.I. 7827
Gestoría Técnica

1. El muestreo es responsabilidad del usuario. 2. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 3. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 4. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 9. Abreviaciones empleadas en el CCA para las especies arbóreas.

Abreviación	Especie	Abreviación	Especie
<i>A. coll.</i>	<i>Acacia collinsii</i>	<i>E. sala.</i>	<i>Eugenia salamensis</i>
<i>A. pana.</i>	<i>Acosmium panamense</i>	<i>F. coti.</i>	<i>Ficus cf. cotinifolia</i>
<i>A. macr.</i>	<i>Agonandra macrocarpa</i>	<i>G. amer.</i>	<i>Genipa americana</i>
<i>A. adin.</i>	<i>Albizia adinocephala</i>	<i>G. sepi.</i>	<i>Gliricidia sepium</i>
<i>A. niop.</i>	<i>Albizia niopoides</i>	<i>G. arbo.</i>	<i>Gmelina arborea</i>
<i>A.edul.</i>	<i>Alibertia edulis</i>	<i>G. aesc.</i>	<i>Godmania aesculifolia</i>
<i>A. race.</i>	<i>Allophylus racemosus</i>	<i>G. ulmi.</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>
<i>A. exce.</i>	<i>Anacardium excelsum</i>	<i>G. macr.</i>	<i>Guettarda macrosperma</i>
<i>A. purp.</i>	<i>Annona purpurea</i>	<i>H. impe.</i>	<i>Handroanthus impetiginosum</i>
<i>A. reti.</i>	<i>Annona reticulata</i>	<i>H. ochr.</i>	<i>Handroanthus ochraceus</i>
<i>A. tibo.</i>	<i>Apeiba tibourbou</i>	<i>H. cour.</i>	<i>Hymenaea courbaril</i>
<i>A. excl.</i>	<i>Aralia excelsa</i>	<i>K. cald.</i>	<i>Karwinskia calderonii</i>
<i>A. grav.</i>	<i>Astronium graveolens</i>	<i>L. cost.</i>	<i>Lonchocarpus costaricensis</i>
<i>B. ungu.</i>	<i>Bauhinia unguolata</i>	<i>L. feli.</i>	<i>Lonchocarpus felipei</i>
<i>B. orel.</i>	<i>Bixa orellana</i>	<i>L. mini.</i>	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>
<i>B. sima.</i>	<i>Bursera simaruba</i>	<i>L. rugo.</i>	<i>Lonchocarpus rugosus</i>
<i>C. cand.</i>	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	<i>L. cand.</i>	<i>Luehea candida</i>
<i>C. acul.</i>	<i>Casearia aculeata</i>	<i>L. spec.</i>	<i>Luehea speciosa</i>
<i>C. argu.</i>	<i>Casearia arguta</i>	<i>M. biov.</i>	<i>Machaerium biovulatum</i>
<i>C. cory.</i>	<i>Casearia corymbosa</i>	<i>M. tinc.</i>	<i>Maclura tinctoria</i>
<i>C. prae.</i>	<i>Casearia praecox</i>	<i>M. nobi.</i>	<i>Margaritaria nobilis</i>
<i>C. sylv.</i>	<i>Casearia sylvestris</i>	<i>M. frut.</i>	<i>Myrospermum frutescens</i>
<i>C. odor.</i>	<i>Cedrela odorata</i>	<i>P. quin.</i>	<i>Pachira quinata</i>
<i>C. pent.</i>	<i>Ceiba pentandra</i>	<i>P. cart.</i>	<i>Piscidia carthagenensis</i>
<i>C. spin.</i>	<i>Chomelia spinosa</i>	<i>P. macr.</i>	<i>Pisonia macranthocarpa</i>
<i>C. viti.</i>	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	<i>P. lanc.</i>	<i>Pithecelonium lanceolathus</i>
<i>C. alli.</i>	<i>Cordia alliodora</i>	<i>P. parv.</i>	<i>Platymiscium parviflorum</i>
<i>C. coll.</i>	<i>Cordia collococca</i>	<i>P. reti.</i>	<i>Pouteria reticulata</i>
<i>C. gera.</i>	<i>Cordia gerascanthus</i>	<i>P. guac.</i>	<i>Pseudosamanea guachapele</i>
<i>C. pana.</i>	<i>Cordia panamensis</i>	<i>P. mich.</i>	<i>Pterocarpus michelianus</i>
<i>C. alat.</i>	<i>Crescentia alata</i>	<i>R. thur.</i>	<i>Randia thurberi</i>
<i>C. guat.</i>	<i>Cupania guatemalensis</i>	<i>S. sama.</i>	<i>Samanea saman</i>
<i>D. retu.</i>	<i>Dalbergia retusa</i>	<i>S. pala.</i>	<i>Sapranthus palanga</i>
<i>D. amer.</i>	<i>Diphysa americana</i>	<i>S. mexi.</i>	<i>Semialarium mexicanum</i>
<i>E. bert.</i>	<i>Erythrina berteroana</i>	<i>S. glau.</i>	<i>Simarouba glauca</i>

Anexo 7. Abreviaciones empleadas en el CCA para las especies arbóreas (Continuación).

Abreviación	Especie	Abreviación	Especie
<i>S. momb.</i>	<i>Spondias mombin</i>	<i>T. mart.</i>	<i>Trichilia martiana</i>
<i>S. purp.</i>	<i>Spondias purpurea</i>	<i>T. trif.</i>	<i>Trichilia trifolia</i>
<i>S. apet.</i>	<i>Sterculia apetala</i>	<i>T. race.</i>	<i>Trophis racemosa</i>
<i>T. rose.</i>	<i>Tabebuia rosea</i>	<i>X. amer.</i>	<i>Ximenia americana</i>
<i>T. deca.</i>	<i>Thouinidium decandrum</i>	<i>X. inte.</i>	<i>Xylosma intermedium</i>
<i>T. amer.</i>	<i>Trichilia americana</i>	<i>Z. ekma.</i>	<i>Zanthoxylum ekmanii</i>
<i>T. hirt.</i>	<i>Trichilia hirta</i>		

Anexo 10. Abreviaciones empleadas en el CCA para las especies gramíneas, arbustos y lianas.

Abreviación	Especie
A. pint.	<i>Arachis pintoi</i>
B. muri.	<i>Banisteriopsis muricata</i>
B. cost.	<i>Blechum costaricense</i>
B. ping.	<i>Bromelia pinguin</i>
C. mucu.	<i>Calopogonium mucunoides</i>
C. race.	<i>Cayaponia racemosa</i>
Cayaponia sp.*	<i>Cayaponia sp.</i>
Cenchrus sp.*	<i>Cenchrus sp.</i>
Cissus sp.1*	<i>Cissus sp.1</i>
Cissus sp.2*	<i>Cissus sp.2</i>
C. frut.	<i>Combretum fruticosum</i>
C. guan.	<i>Cordia guanacastensis</i>
C. alat.	<i>Crescentia alata</i>
Croton sp.*	<i>Croton sp.</i>
C. amer.	<i>Curatella americana</i>
C. dive.	<i>Cydista diversifolia</i>
Desmodium sp.*	<i>Desmodium sp.</i>
G. barb.	<i>Gonolobus barbatus</i>
G. poly.	<i>Gouania polygama</i>
H. rufa.	<i>Hyparrhenia rufa</i>
H. suav.	<i>Hyptis suaveolens</i>
I. trif.	<i>Ipomoea trifida</i>
L. cama.	<i>Lantana camara</i>
L. rusc.	<i>Lasiacis ruscifolia</i>
L. frut.	<i>Lasianthaea fruticosa</i>
M. arun.	<i>Maranta arundinaceae</i>
M. quir.	<i>Matelea quirosii</i>
M. maxi.	<i>Megathyrsus maximus</i>
M. pudi.	<i>Mimosa pudica</i>
Pennisetum sp.*	<i>Pennisetum sp.</i>
S. mela.	<i>Scleria melaleuca</i>
Selaginella sp.*	<i>Selaginella sp.</i>
S. rhom.	<i>Sida rhombifolia</i>
S. fran.	<i>Stachytarpheta frantzii</i>