

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORÍA ACADÉMICA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA MANEJO DE RECURSOS NATURALES

Análisis de la composición y estructura del bosque remanente de la Reserva Madre Verde para la
propuesta de sistemas silviculturales análogos en la recuperación de terrenos degradados,
Palmares, Alajuela

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

Rafael Ernesto Miralda Maradiaga

Sede: San José

Supervisor

Mag. Ana Victoria Wo Ching

Noviembre 2023

Dedicatoria

A mi esposa, Meghan Loyd por el apoyo total que me ha dado a lo largo de mi estudio universitario, por enseñarme a no rendirme, a siempre dar lo mejor de mí y a seguir adelante.
A mi madre Aida Maradiaga y a mi hermana Astrid Maradiaga por sacar adelante a la familia en los tiempos más difíciles de nuestras vidas.

Gracias.

Agradecimiento

A Mag. Ana Victoria Wo Ching por supervisar el trabajo final de graduación, por compartir sus conocimientos y por su increíble amabilidad.

A Pamela Campos por abrirme las puertas en la reserva y brindar el espacio necesario para realizar la investigación.

A Jessica Rodríguez quien me brindó apoyo en la identificación de árboles, así como también por compartir material didáctico valioso.

A la Fundación Madre Verde y todos sus colaboradores que día a día, son parte del trabajo de conservación en la reserva.

A los estudiantes de la UNED con los que he compartido en el transcurso de todo el proceso de formación.

Resumen

El estudio de la estructura y composición de los bosques tiene como fin poder arrojar información necesaria para la propuesta de sistemas silviculturales. La forestería análoga es una herramienta valiosa para la recuperación de suelos degradados, ya que esta metodología copia un bosque clímax, el cual se pretende replicar. La investigación se llevó a cabo en Reserva Madre Verde, La Granja, Palmares, Alajuela.

Este trabajo tuvo como objetivo analizar la composición y estructura del bosque en la Reserva Madre Verde, para poder captar los datos necesarios y así determinar qué especies de árboles se pueden utilizar en un sistema silvicultural análogo. Este estudio se desarrolló desde finales de julio hasta octubre. Asimismo, se desarrolló en diferentes etapas, siendo la primera la medición e identificación de árboles en parcelas marcadas dentro de la Reserva y posteriormente, una descripción de los estratos de cada parcela y las condiciones en general. Se logró determinar que las especies *Zygia longifolia* y *Conostegia xalapensis* son importantes para las distintas etapas de sucesión natural, y estas juegan un papel en la salud futura de las parcelas. Igualmente, por medio de la recopilación histórica de imágenes satelitales de la zona, se pudo desarrollar un diseño de forestería análoga.

Índices

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	3
Resumen.....	4
I. Introducción	8
1.1 Antecedentes.....	8
1.2 Descripción de la Situación o Planteamiento del Problema	10
1.3 Justificación	12
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo general	13
1.4.2 Objetivos específicos	13
II. Marco Teórico	14
2.1 Bosques de Costa Rica	14
2.2 Degradación del Bosque Premontano	14
2.3 Composición Florística y Estructura del Bosque	15
2.4 Sucesión Ecológica	16
2.5 Sistemas Agroforestales	17
2.6 Forestería Analoga	18
2.7 Experiencias Implementando Forestería Análoga	19
2.8 Sistemas de Información Geográfica para la Conservación	21
III. Marco Metodológico	22
3.1 Enfoque, Tipo y Diseño de Investigación	22
3.2 Contexto de la Investigación	22
3.3 Técnicas, Instrumentos y Análisis de Datos	23
3.3.1 Evaluación de la estructura forestal de la Reserva para determinar el índice de valor de importancia mediante la selección de árboles específicos	24
3.3.2 Medición de la cobertura boscosa en la Reserva con el fin de describir los estratos del bosque por medio de un cálculo de la distribución diamétrica	25
3.3.3 Comparación de cambios en la cobertura forestal utilizando imágenes satelitales para respaldar propuestas de forestería análoga	26

	6
IV. Resultados	27
4.1 Evaluación de la Estructura Forestal de la Reserva para Determinar el Índice de Valor de Importancia Mediante la Selección de Árboles Específicos	27
4.2 Medición de la Cobertura Boscosa en la Reserva con el Fin de Describir los Estratos del Bosque por medio de un Cálculo de la Distribución Diamétrica	31
4.3 Comparación de Cambios en la Cobertura Forestal Utilizando Imágenes Satelitales para Respaldar Propuestas de Forestería Análoga	37
V. Discusión	41
5.1 Evaluación de la Estructura Forestal de la Reserva Para Determinar el Índice de Valor de Importancia Mediante la Selección de Árboles Específicos	41
5.2 Medición de la Cobertura Boscosa en la Reserva con el Fin de Describir los Estratos del Bosque Por Medio del Cálculo de la Distribución Diamétrica	42
5.3 Comparación de cambios en la cobertura forestal utilizando imágenes satelitales para respaldar propuestas de forestería análoga	45
VI. Conclusiones	47
6.1 Evaluación de la Estructura Forestal de la Reserva Para Determinar el Índice de Valor de Importancia Mediante la Selección de Árboles Específicos	47
6.2 Medición de la Cobertura Boscosa en la Reserva con el Fin de Describir los Estratos del Bosque Por Medio del Cálculo de la Distribución Diamétrica	47
6.3 Comparación de cambios en la cobertura forestal utilizando imágenes satelitales para respaldar propuestas de forestería análoga	48
VII. Recomendaciones	49
VIII. Referencias	50
IX. Anexos	54
Anexo A Imagenes especies vegetales de la Reserva Madre Verde	54

Índice de tablas

Tabla 1 Técnica e instrumentos requeridos para el cumplimiento del objetivo específico 1 24

Tabla 2 Técnicas e instrumentos requeridos para el cumplimiento del objetivo específico 2 25

Tabla 3 Técnicas e instrumentos requeridos para el cumplimiento del objetivo específico 3 ... 26

Tabla 4 Índice de Valor de Importancia (IVI= Frecuencia Relativa + Densidad Relativa + Área Basal Relativa) de las especies con un DAP mayor a 3.2 cm (10 Cm CAP), en las cuatro parcelas en la Reserva	30
--	----

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación de las cuatro parcelas, dentro de la Reserva Natural Madre Verde, La Granja, Palmares, Costa Rica	23
Figura 2 Familias con mayor riqueza de especies	28
Figura 3 Familias con mayor abundancia de individuos en todas las parcelas	29
Figura 4 Clasificación y cantidad de árboles totales según su DAP	32
Figura 5 Estrato inferior y medio, parcela #1	33
Figura 6 Suelo y sotobosque en la parcela #2	34
Figura 7 <i>Zygia longifolia</i> en la parcela #3	35
Figura 8 Estrato superior en parcela #4	36
Figura 9 Cobertura forestal en la Reserva en distintos periodos	38
Figura 10 Paisaje actual de la Reserva	39
Figura 11 Propuesta de diseño de forestería análoga	40

I. Introducción

1.1 Antecedentes

El término “forestería análoga” fue acuñado por el biólogo de sistemas Ranil Senanayake en 1987, tras varios años de experimentación con sistemas forestales sostenibles en Sri Lanka. Representa un enfoque de gestión forestal que busca establecer un ecosistema dominado por árboles, similar en sus funciones ecológicas a la comunidad vegetal original. Este enfoque tiene como objetivo potenciar a las comunidades rurales tanto en términos sociales como económicos, a través del uso de especies que ofrezcan productos comercializables. Puesto a trabajar, este sistema se centra en la restauración de áreas forestales degradadas, reemplazando frecuentemente prácticas agrícolas tradicionales con prácticas agroforestales sostenibles, biológicamente diversas y productivas. También tiene la capacidad de satisfacer las necesidades extractivas de las poblaciones locales, como leña, madera, frutas, nueces, materiales de construcción y alimentos para animales domésticos. Cabe destacar que simultáneamente proporciona ingresos adicionales y un entorno ecológicamente estable. Este enfoque innovador se presenta como una alternativa prometedora para abordar la degradación forestal (Navarro, 2022).

En la forestería análoga, es necesario poder compartir datos de experiencias y de proyectos en funcionamiento para poder continuar desarrollando mejores técnicas y conocimiento sobre este enfoque productivo. Por lo tanto, en el documento realizado por Landry y Dowbiggin (2010) llamado “Sistematización del proyecto Restauración de la biodiversidad y desarrollo comunal a través de la forestería análoga. De la teoría a la implementación en los Bosques Modelo Reventazón (Costa Rica), Atlántida (Honduras) y Colinas Bajas (República Dominicana)”, el objetivo principal es presentar los resultados regionales de proyectos, así como compartir aprendizajes y recomendaciones que fueron identificados durante el proceso de aplicación de forestería análoga. En todos los sitios se recolectaron datos con respecto a los objetivos de los propietarios, uso anterior del sitio, diversidad de especies, plan de gestión y productos y servicios generados. Como parte de los resultados de la recopilación de estos datos, se incluye una lista de recomendaciones y aprendizajes que se pueden utilizar para la aplicación de la forestería análoga. Los autores determinaron una lista de 20 temas e inclusive un análisis

FODA para contribuir con la implementación de nuevos proyectos de forestería análoga en la región.

Carrasco (2020), en su trabajo llamado “La forestería análoga como herramienta para la restauración ecológica en un bosque plantado de *Eucalyptus globulus* en la Hacienda El Paraíso en la Provincia de Imbabura, Ecuador”, llevó a cabo un estudio de la vegetación existente mediante una valoración ecológica rápida. Determinó mediante un análisis comparativo la biodiversidad de un bosque clímax con una plantación de *Eucalyptus globulus*. El método de investigación fue la observación y medición in situ. En este caso se recolectaron datos de tres transectos de 0,1 ha, tales como aspecto de la estructura del bosque y productividad entre otros, para la elaboración del modelo de forestería a utilizar. Como resultados pudo determinar que suelos con menor diversidad de plantas presentan alta erosión, compactación y menor estabilidad estructural. El Índice de Valor de Importancia (IVI) pudo identificar qué especies presentan mejor capacidad de prosperar tomando en cuenta la abundancia, frecuencia y dominancia de las mismas. En conclusión, el autor determinó las especies a incluir en la propuesta de forestería análoga, basado en la función de los árboles.

El enfoque de forestería análoga puede tener varios objetivos dentro de su rango de usos, tal como lo explica Navarro (2022) en su proyecto “Diseño de sistemas agroforestal basado en integración ecosistémica y experiencia de forestería análoga en La Virgen de Sarapiquí, Costa Rica”. En este caso, uno de los objetivos era caracterizar un sistema de forestería análoga por medio de la recolección de datos e identificación de componentes. Las actividades de investigación incluyeron visitas de campo para observar las áreas bajo forestería análoga y entrevistas a personas relacionadas con los proyectos. Pudo concluir que las principales actividades que se desarrollan en las propiedades son para la producción de alimentos para el autoconsumo y comercialización. Así mismo en las parcelas observadas con forestería análoga, se evidenció el cambio en el paisaje, la diversidad y sostenibilidad. En conclusión, se pudo verificar que en los aspectos socioambientales, las personas relacionadas con la producción forestal análoga han incrementado sus conocimientos con este modelo de desarrollo.

Por último, la investigación llevada a cabo por Rodríguez-Arias (2023), “Cambios en la estructura vertical y composición florística en la Reserva Natural Madre Verde, Costa Rica, tras 15 años de restauración ecológica”, recopiló datos en el año 2005 y luego en el año 2020,

abriendo la posibilidad de evaluar los cambios en la vegetación. Los resultados de este proceso de regeneración fueron positivos, ya que los datos sobre la cantidad de especies e individuos en las parcelas y las características de la estructura del bosque demostraron una mejora. En 15 años la Reserva pasó de estar constituida por pastizales y charrales con algunos remanentes de bosque, a estar completamente cubierta de bosque secundario. Este tipo de documentación de éxito en un proceso de sucesión natural del bosque brinda datos que son necesarios para elaborar propuestas como la forestería análoga.

1.2 Descripción de la Situación o Planteamiento del Problema

La Fundación Madre Verde, propietaria de la Reserva Madre Verde, ubicada en La Granja, Palmares, Alajuela, es una fundación relativamente joven, con 23 años de haberse establecido de manera legal, por lo que aún requiere de la recopilación de datos sobre los recursos con los que cuenta para poder incluir información más específica en su plan de manejo y en los objetivos que desea alcanzar. Los orígenes de la fundación se remontan a 1990. Sin embargo, fue creada como tal en el año 2000 y, finalmente a partir del año 2004, se estableció un plan estratégico, el cual definió objetivos y expectativas de la organización (Carmona y Carmona, 2022).

En las inmediaciones de la Reserva Madre Verde se hallan terrenos degradados, los cuales fueron explotados con fines agrícolas. Al determinar la riqueza florística y la composición y estructura del bosque remanente de la Reserva, se da la posibilidad de contribuir a la recuperación de las áreas degradadas mediante la propuesta de sistemas silviculturales análogos a la vegetación del bosque en cuanto a estructura y servicios ecosistémicos.

La conservación de la biodiversidad en la Reserva es crucial para la riqueza de especies y la salud del hábitat. Además, se señala el potencial de recuperación de bosques en áreas previamente degradadas. La forestería análoga, centrada en el establecimiento de árboles similares a la vegetación original, se presenta como una solución para la recuperación de terrenos degradados. El conocimiento de bosques de referencia, como el remanente en Madre Verde, es esencial para proyectos de protección de recursos naturales.

En Palmares, históricamente el aprovechamiento de los suelos ha sido con fines intensivos, lo que ha ocasionado la pérdida de los bosques nativos. La Reserva Madre Verde

juega un rol importante en la conectividad de hábitats y en la protección del suelo y el recurso hídrico (Arias y Brenes, 2009). Por lo tanto, el estudio de la estructura y la composición del bosque en la Reserva adquiere un interés científico, económico y cultural para el cantón.

Palmares y sus alrededores solían tener una cobertura boscosa representada en zonas de vida como el bosque húmedo y el bosque muy húmedo premontano. Debido a las buenas condiciones ambientales y al recurso de los bosques, estos fueron talados para establecer pastizales y cafetales. En décadas pasadas, la introducción de especies exóticas para la reforestación hizo que el paisaje de esta área cambiara. Por tal razón se creó la Reserva, con el propósito de conservar las especies nativas de árboles de la zona (Rojas, 2013). Los árboles nativos son clave para la restauración en los alrededores de las áreas conservadas, ya que estas especies atraen organismos dispersores y se adaptan con facilidad al medio (Barrientos y Monge-Nájera, 2010).

La conservación de la biodiversidad depende de áreas protegidas como la Reserva Madre Verde. La composición del bosque es determinante para la riqueza de especies de fauna que se puedan llegar a presentar en la Reserva. Asimismo, el estado del bosque es un indicador ambiental que permite determinar la salud del hábitat (Rodríguez y Brenes, 2010). En esta área existe el potencial para la recuperación de bosques en áreas que en algún momento fueron pastizales o cafetales.

Una solución para la recuperación de terrenos degradados es la forestería análoga, la cual consiste en el establecimiento de árboles con estructura y funciones ecológicas similares (análogas) a las de la vegetación original de una comunidad clímax, a fin de que proporcionen los mismos servicios ecosistémicos. De esta manera, el conocimiento de un bosque que sirva de referencia, como el remanente en Madre Verde, es esencial para los proyectos en los que se busca la protección de los recursos naturales (Senanayake y Jack, 1998, citados en Young, 2017; Granda et al., 2015; Young, 2017).

Según lo descrito anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera se puede utilizar el conocimiento sobre la composición y la estructura del bosque remanente en la Reserva Madre Verde para la recuperación de áreas degradadas en las inmediaciones de la Reserva?

1.3 Justificación

La información generada por la investigación que se propone podría fundamentar proyectos a futuro en la Reserva Madre Verde, como la creación de viveros forestales y actividades para el fomento de la restauración en otras áreas del cantón de Palmares. Los viveros forestales tienen beneficios como la germinación de semillas y asegurar la diversidad genética. El estudio de la composición y la estructura del bosque identifica las especies clave, con lo que se podría priorizar el desarrollo de éstas. En viveros forestales se puede garantizar que la estructura y la composición del bosque se mantengan a largo plazo, mediante la propagación de especies de plantas seleccionadas.

Los sistemas silviculturales análogos son de importancia en el manejo de recursos naturales para la recuperación de terrenos degradados; en este sentido, Palmares y sus alrededores ofrecen las condiciones para aplicar la estrategia de forestería análoga. De esta manera, el estudio aportaría conocimiento que se puede replicar en otros sitios, considerando la Reserva como una referencia para proyectos de protección y conservación.

El uso de la aplicación TreeMapper, que funciona para registrar datos, permite un fácil monitoreo y análisis de la información recopilada en el campo. Este tipo de aplicación se considera una herramienta innovadora para el monitoreo de árboles. Esta plataforma permite compartir información y divulgarla a las personas, por lo que es un elemento que podrá ser utilizado por la Reserva Madre Verde.

Por ende, uno de los propósitos de este estudio es incrementar el acervo de información sobre la Reserva y los proyectos que se realizan actualmente en ella, de manera que siga logrando promover la conservación de los bosques y, desde luego, generar cambios en la comunidad.

La línea de investigación es el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad. La biodiversidad, entendida en sus múltiples dimensiones como fuente de conservación, calidad ambiental y aprovechamiento sostenible.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Analizar la composición y la estructura del bosque remanente de la Reserva Madre Verde para la propuesta de sistemas silviculturales análogos que contribuyan a la recuperación de terrenos degradados aledaños a la Reserva en la zona de vida bosque premontano muy húmedo.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Evaluar la estructura forestal dentro de la Reserva Madre Verde para determinar el índice de valor de importancia mediante la selección de árboles específicos.
- Medir la cobertura boscosa en la Reserva con el fin de describir los estratos del bosque por medio de un cálculo de la distribución diamétrica.
- Comparar los posibles cambios ocurridos en la cobertura forestal utilizando sistemas de información geográfica, con el fin de respaldar propuestas para implementar prácticas de forestería análoga en la Reserva y zonas aledañas.

II. Marco Teórico

2.1 Bosques de Costa Rica

En Costa Rica se han desarrollado diversos sistemas de clasificación de la vegetación con el propósito de agrupar los diferentes tipos de ecosistemas en categorías que compartan similitudes. Estos sistemas utilizan diversas variables y enfoques metodológicos para llevar a cabo la clasificación. Uno de los sistemas más ampliamente adoptados es el llamado Sistema de Zonas de Vida o formaciones vegetales, propuesto por Holdridge en 1982. Este sistema divide a Costa Rica en 12 zonas de vida y 12 zonas de transición en función de factores ambientales cruciales como la humedad, la precipitación y la temperatura. Según esta clasificación, los cinco tipos de bosque más extensos en Costa Rica son: bosque muy húmedo tropical, que cubre el 10.5% del territorio nacional; bosque muy húmedo premontano, abarcando el 7.2% del territorio; pluvial montano bajo, con una extensión del 5.9% del territorio; pluvial premontano, cubriendo el 5.6% del país; y húmedo tropical, que se extiende por el 5.5% del territorio costarricense (Quesada, 2007).

2.2 Degradación del Bosque Premontano

La cobertura forestal y la degradación del bosque tienen un impacto significativo en América Latina, ya que afectan las oportunidades de desarrollo de las poblaciones rurales. Esto se relaciona con problemas como la contaminación del agua, incendios forestales, erosión del suelo, pérdida de biodiversidad, tráfico ilegal de flora y fauna, y la falta de planificación turística. Estos factores contribuyen a la degradación de los ecosistemas y afectan la calidad de vida de las personas que dependen de ellos (Sancho y Brenes, 2023).

La valoración social del bosque generalmente se asocia con la provisión de servicios ambientales en lugar de productos comerciales. Los propietarios de tierras desempeñan un papel fundamental en la conservación de hábitats como el bosque, ya que se les atribuye la responsabilidad de proporcionar servicios ambientales. En el caso específico del bosque húmedo premontano, éste se enfrenta a una reducción significativa de su área debido a la expansión de la agricultura, la ganadería y el crecimiento de asentamientos humanos. Esto ha llevado a la fragmentación del bosque. La creación de zonas de amortiguamiento alrededor de áreas

protegidas busca involucrar a las comunidades locales en la conservación de estos ecosistemas (Sancho y Brenes, 2023).

Sin embargo, a pesar de la degradación del suelo y deforestación, Costa Rica registra números positivos en comparación con otras naciones de la región en la cuestión de pérdida de los bosques. En 2016, Costa Rica destacó como un ejemplo en la región debido a un notable aumento en la superficie forestal, representando ahora el 54% del país. Según el Inventario Forestal Nacional de ese año, el país cuenta con seis tipos de cobertura forestal, siendo los bosques maduros los que ocupan el 31% del territorio, seguidos por un 18% de bosques secundarios, y un 3.1% correspondiente a otros tipos como manglares, bosques de palmas y plantaciones forestales (Obando-Vargas y Obando-Coronado, 2020).

2.3 Composición Florística y Estructura del Bosque

Analizar localmente la composición de la vegetación es el primer paso esencial para comprender la estructura y dinámica de un bosque. Este conocimiento resulta fundamental para abordar diversos aspectos ecológicos, incluido el manejo efectivo de los bosques tropicales. Contar con información básica sobre los ecosistemas protegidos se vuelve crucial para implementar medidas adecuadas destinadas a su conservación y gestión a largo plazo, especialmente en áreas reducidas o fragmentadas. Sin embargo, la constante deforestación y fragmentación de los bosques representan amenazas significativas para la integridad de los ecosistemas. En la mayoría de los casos, carecemos de información esencial para revertir este proceso (Cascante, 2001).

La composición de un bosque, que señala qué especies se encuentran en él, está influida por factores ambientales como la ubicación geográfica, el clima, los suelos y la topografía, así como por la dinámica del bosque y la ecología de sus especies. Conocer la composición de un bosque específico es relevante porque permite caracterizar las comunidades en términos de familias, géneros y especies presentes. La riqueza se representa mediante el número total de especies por unidad de área. La riqueza es un parámetro utilizado para evaluar la importancia del bosque en función del número de especies que alberga, expresando así la composición a través de las diferentes especies dentro del área boscosa (Guadamuz y Bloomfields, 2019).

Las propiedades del suelo y el tipo de clima, así como las características y estrategias de las especies, junto con los impactos en la dinámica del bosque, son determinantes para la configuración horizontal del mismo, evidenciada en la disposición de los árboles. Esta disposición estructural surge como consecuencia de la manera en que las plantas reaccionan al entorno y a las restricciones y amenazas presentes. Se han identificado dos formas predominantes de estructura: la coetánea o regular, caracterizada por la similitud en edad o tamaño de la mayoría de los individuos, ya sea de una o varias especies, y la discetánea o irregular, en la cual los individuos del bosque están distribuidos en distintas clases de tamaños (Louman et al., 2001, citado en Guadamuz y Bloomfields, 2019).

2.4 Sucesión Ecológica

La sucesión ecológica es un proceso natural que ocurre cuando un ecosistema se perturba y da paso a la regeneración de la vida en esa área. Esta perturbación puede modificar el hábitat y las especies dominantes, lo que a su vez puede llevar a la sustitución de una comunidad existente por una nueva. Los seres vivos, tanto plantas como animales, cambian y se desarrollan con el tiempo, lo que afecta las condiciones de la comunidad. Estos cambios pueden favorecer la aparición de especies diferentes, relegando las que ya estaban presentes a un estado subordinado o facilitando especies invasoras en otras áreas. La llegada y el predominio de nuevas especies dan lugar a la formación de una nueva comunidad en un proceso llamado sucesión ecológica. La sucesión de la vegetación se debe a cambios en la cantidad de especies permanentes en su composición florística. No todos los cambios en las especies se consideran parte de la sucesión: sólo cuando se altera el equilibrio y se cambia la uniformidad de la vegetación dominante se habla de una sucesión. La sucesión se compone de una serie de etapas relacionadas genéticamente, que incluyen una etapa precursora, varias de transición y una etapa final llamada clímax. Estas etapas se suceden regularmente, y la independencia de la sucesión se mide por la cantidad, estructura y duración de las etapas (Ochoa, 2017).

Los cambios en el ecosistema durante la sucesión ecológica, así como la rapidez con la que se produce, están condicionados por diversas características del área, tales como su extensión, intensidad y frecuencia, así como también la disponibilidad de propágulos regenerativos, como semillas y plántulas locales, junto con la influencia del ambiente biótico que incluye depredadores, propagadores, patógenos, parásitos, entre otros, y de las condiciones

abióticas en el área. Todos los anteriores son factores determinantes en el proceso de sucesión ecológica (Grubb, 1985; Pickett y White, 1985; Pickett et al., 1987, citado en Ramos y Orth, 2007).

La disponibilidad y cantidad de propágulos está directamente influenciada por las características específicas y de uso del suelo. Por ejemplo, en un campo con suelos degradados, a medida que aumenta la extensión del área abandonada, se incrementa la distancia de la fuente de propágulos, que generalmente se encuentra en los fragmentos de bosques cercanos o en sistemas agroforestales. Cuanto mayor sea la extensión del campo abandonado, menor será la probabilidad de que lleguen propágulos desde las áreas circundantes, afectando así la capacidad de regeneración (Cubiña y Aide, 2001, citado en Ramos y Orth, 2007).

2.5 Sistemas Agroforestales

Los sistemas agroforestales (SAF) implican la presencia de especies leñosas perennes, como árboles y arbustos, que interactúan con los componentes tradicionales como cultivos, hierbas forrajeras y animales, todo dentro de un enfoque integral (Sánchez, 1995, citado en Casanova-Lugo et al., 2011). Aunque los SAF se practican de diversas maneras en todo el mundo, su aplicación es más común en las regiones tropicales. Aproximadamente el 20% de la población mundial, que equivale a 1,200 millones de personas, depende directamente de los productos agroforestales y sus servicios en los países en desarrollo (Pandey, 2002, citado en Casanova-Lugo et al., 2011).

Dada su importancia y amplio uso, surge la pregunta de si la aplicación de la agroforestería podría satisfacer las demandas locales, promover la captura y almacenamiento de carbono para obtener beneficios económicos y ayudar a mitigar la acumulación de CO₂ en la atmósfera. Estos sistemas pueden mantener e incluso aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. La agroforestería fomenta prácticas sostenibles de bajo impacto, minimizando la alteración de los suelos y plantas, priorizando la vegetación perenne y el reciclaje de nutrientes, lo que contribuye al almacenamiento a largo plazo del carbono (Nair, 2004, citado en Casanova-Lugo et al., 2011).

Existen dos razones clave en las que radica la importancia de la agroforestería: primero, el componente arbóreo en SAF captura carbono atmosférico a través de la fotosíntesis y lo almacena en el suelo, actuando como secuestrador de carbono; segundo, la agroforestería contribuye a reducir la deforestación de bosques y selvas relacionada con actividades agropecuarias. Existen al menos tres categorías de tierras ideales para la implementación de tecnologías agroforestales: tierras degradadas y no productivas, tierras agrícolas o de pastoreo que podrían complementarse con la plantación de árboles, y tierras agrícolas en barbecho. La adopción de prácticas agroforestales se presenta como una alternativa para el desarrollo rural sostenible en el trópico mexicano, ya que contribuye a reducir las emisiones de dióxido de carbono, principal causante del efecto invernadero, alivia la presión sobre ecosistemas vulnerables como bosques y selvas, y aporta bienestar socioeconómico a las comunidades rurales (Schroeder, 1994, citado en Casanova-Lugo et al., 2011).

2.6 Forestería Análoga

El concepto de silvicultura análoga es valioso. Constituye un enfoque de restauración de ecosistemas boscosos que tiene como base imitar la estructura y funciones de los bosques nativos. De acuerdo a Senanayake (2012), la forestería análoga tiene como sustento algunos principios que tienen como objetivo crear un ecosistema dominado por árboles para que ecológicamente se asemeje a la vegetación clímax.

Uno de los principios es observar y registrar, consiste en comprender y evaluar los datos que ayudarán a referenciar futuras observaciones y cambios, así como también a crear datos iniciales. Es importante comprender tanto el sistema que se está observando, registrar con detalle información científica y tradicional, así como el terreno: nivel de rendimiento que se pueda llegar a tener, flujo de agua, inclinación, vegetación actual y la condición deseada a futuro. Senanayake propone como necesario identificar el objetivo al cual se quiere llegar al implementar forestería análoga, ya que esto determinará la cantidad de especies y la demanda de rendimiento del cultivo deseado.

Realizar un mapa de la superficie del terreno, detectar patrones de flujos en el terreno y posibles patrones de vegetación, así como ubicar zonas de drenaje y potencial para recuperar el sistema, son acciones que contribuyen a planificar futuras ideas y proyectos. Al continuar,

aumentar o mejorar estos sistemas de flujo, se contribuye a la mejora de la productividad y, al mismo tiempo, se reduce la necesidad de energía externa, otro de los principios establecidos. El incremento de la energía tiende a simplificar el sistema, por lo que incrementa la sostenibilidad. Por lo tanto, gestionar los sistemas de flujo de manera eficiente representa una medida clave para abordar la modificación del ecosistema y reducir la dependencia de energía externa. En la forestería análoga, el paisaje natural guía el criterio principal para la vegetación. Un ejemplo puede ser las cuencas hidrográficas. Un paisaje suele tener muchos componentes, como campos, caminos, áreas de árboles, estructuras, ríos y área de producción. En silvestrismo análogo se tienen que definir las especies de árboles que se van a utilizar para revegetación, así como tener pleno conocimiento del papel ecológico de las mismas (Senanayake, 2012).

A medida que los ecosistemas maduran, experimentan cambios en la composición de especies y en su red trófica. Cada etapa tiene especies de árboles y características que aportan estabilidad, lo que influye en el diseño de huertos, jardines y plantaciones forestales. En los trópicos, se usan árboles leguminosos de sucesión intermedia como sombra para cultivos de café. Al diseñar la estructura, se debe elegir la etapa de sucesión adecuada según los cultivos. Incorporar procesos ecológicos en el diseño siempre es beneficioso para lograr una mayor estabilidad en los ecosistemas. Todos los ecosistemas se rigen por una serie de procesos, algunos de los cuales son fundamentales para mantener la estabilidad y la productividad. Estos procesos ecológicos permiten aumentar la eficiencia a través de una gestión adecuada. El diseño de modelos efectivos y elegantes surge en gran medida de la identificación de procesos ecológicos clave como: efectos de borde, donde la transición entre dos ecosistemas favorece una mayor diversidad biológica; especies clave que son esenciales para la supervivencia de numerosas otras especies en el ecosistema y tienen un impacto mayor de lo esperado en función de su abundancia; y especies indicadoras, organismos que reflejan un cierto nivel o estado de la biodiversidad (Senanayake, 2012).

2.7 Experiencias Implementando Forestería Análoga

Se ha propuesto la forestería análoga como un enfoque para establecer un sistema de manejo silvícola y ecológico que recrea un ecosistema dominado por árboles idénticos o análogos en estructura y función a la vegetación original. Se ha evidenciado que, mediante la aplicación adecuada de técnicas de forestería análoga, los finqueros han logrado cambiar una

situación de degradación inicial, mejorando la diversidad florística y aumentando la riqueza de especies. Se ha empleado la forestería análoga como una oportunidad para restaurar ecosistemas forestales completamente degradados. Se han utilizado diversos métodos como diagnósticos, inventarios, análisis de la estructura del bosque, valoraciones ecológicas y participación comunitaria, para seleccionar especies análogas y diseñar estrategias de restauración. La participación activa de los finqueros ha contribuido al mapeo del paisaje y ha permitido obtener productos agrícolas para el consumo local (Carrasco, 2020).

Un caso específico sobre la implementación de forestería análoga en Costa Rica se da en Finca Buenaventura, ubicada en Pacayitas de Turrialba con una extensión de 2.48 hectáreas. Durante un período de veinticinco años, la finca estuvo dedicada al cultivo de la caña de azúcar, lo que implicó el uso intensivo de fertilizantes químicos, herbicidas y quemas anuales. Estas prácticas tradicionales condujeron a la degradación del suelo, resultando en consecuencias negativas para el medio ambiente, como la pérdida de fertilidad, disminución de los rendimientos productivos y efectos adversos en la economía. Este proyecto tuvo como objetivo principal la restauración de los suelos y la vegetación, incorporando especies análogas al bosque potencial mediante la práctica de forestería análoga. Además de ofrecer productos comercializables, la visión del proyecto incluyó convertir la finca en un destino turístico rural comunitario de bajo impacto, enfocado en la educación ambiental y la experimentación con fines científicos (Hernández y Marroquín, 2008).

La Finca Buenaventura se presenta como un modelo a seguir, no solo como una alternativa para generar ingresos y promover el desarrollo rural de manera sostenible, sino también para contribuir a la mejora de las condiciones ambientales en el área circundante. Con el respaldo de entidades nacionales, incluidas las universidades públicas, la finca se ha convertido en una alternativa que fortalece el desarrollo rural, aborda las necesidades ambientales, fomenta un cambio de conciencia hacia el medio ambiente, impulsa el desarrollo productivo en la comunidad y sirve como un laboratorio natural para la investigación. Como parte integral de este esfuerzo, se escribió un documento exhaustivo que recopila tanto la descripción biofísica del entorno como información detallada sobre la forestería análoga. Este documento incluye una guía dendrológica que ofrece detalles específicos sobre las más de 90 especies forestales presentes en la Finca Buenaventura. Además, se desarrolló un sistema de información geográfica

que posibilita la visualización precisa de la ubicación de cada una de estas especies en las tres etapas de reforestación del proyecto (Hernandez y Marroquin, 2008).

2.8 Sistemas de Información Geográfica para la Conservación

Las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten la organización, gestión y análisis de datos espacialmente distribuidos. Un SIG tiene la capacidad de manejar diferentes tipos de datos que coexisten en el mismo espacio geográfico. La eficacia de un SIG radica en su habilidad para analizar las relaciones entre las características y sus datos. La planificación del manejo implica realizar proyecciones acerca de la apariencia futura del área a recuperar. Esta capacidad es esencial para prácticamente todos los aspectos de la predicción en la gestión, especialmente en lo que respecta al suministro a largo plazo de madera y vida silvestre. Esto permite al gestor incorporar de manera efectiva tanto las dimensiones temporales como espaciales al proceso de planificación del manejo (Sonti, 2015).

Las aplicaciones de los SIG en el ámbito forestal se enfocan principalmente en la realización de inventarios de recursos, que incluyen el monitoreo y análisis, así como en la creación de modelos para respaldar la toma de decisiones (McKendry y Eastman, 1991, citado en Cornelio, 2020). La planificación de proyectos de reforestación puede beneficiarse mediante la implementación de estrategias que incluyan: la construcción de bases de datos geográficos que evalúen la idoneidad del terreno para diferentes especies arbóreas, la evaluación detallada del terreno, y la selección cuidadosa de áreas propicias para nuevas plantaciones.

III. Marco Metodológico

3.1 Enfoque, Tipo y Diseño de Investigación

La investigación tiene un enfoque predominantemente cuantitativo, ya que se recopilaron datos y cálculos sobre los árboles. El tipo de investigación es exploratorio descriptivo, ya que se realizó una descripción del bosque, los estratos y algunos cambios que se han registrado a lo largo del tiempo.

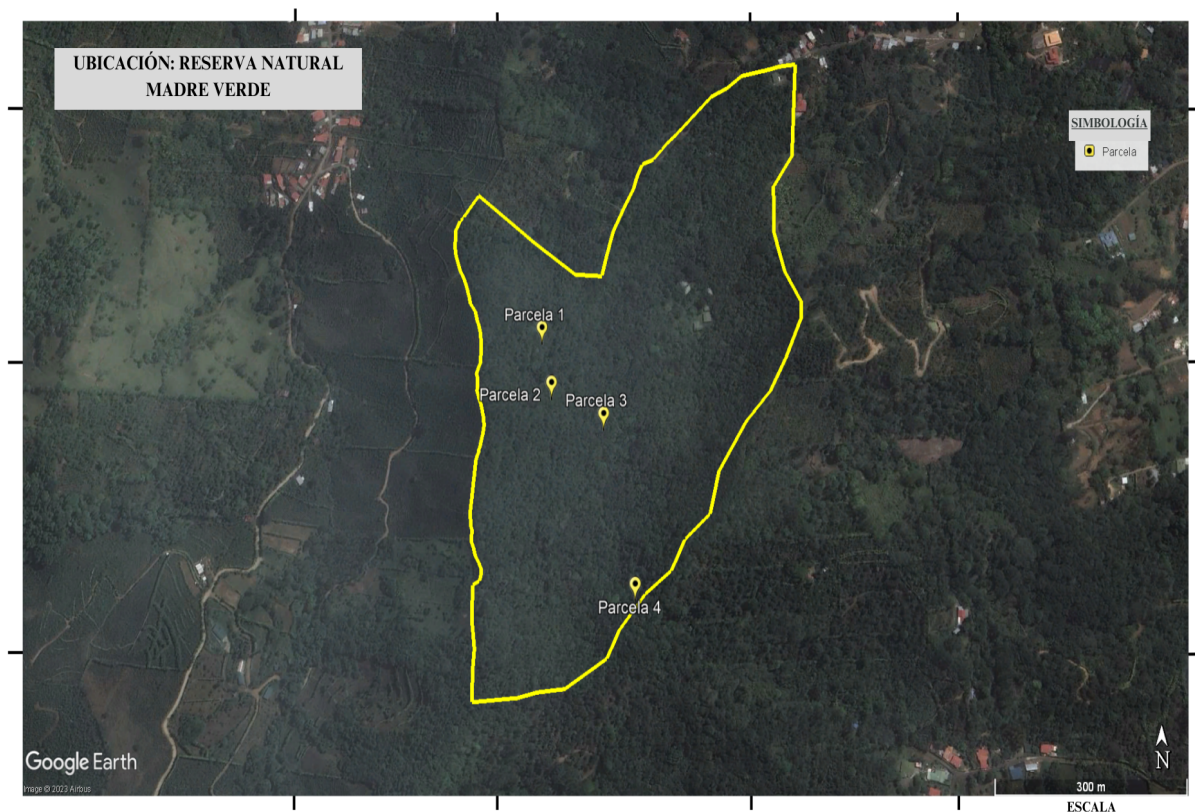
3.2 Contexto de la Investigación

La investigación se llevó a cabo en Reserva Madre Verde, en la ubicación 84°27'10" y 84°27'50" longitudes oeste y 10°2'30" y 10°3'30" latitudes norte, Palmares, Alajuela. La Fundación Madre Verde (FMV) es una organización sin fines de lucro no gubernamental, la cual protege un parche de bosque de 31 ha. Estos terrenos fueron constituidos con el propósito de conservar el recurso hídrico, así como también con fines científicos, y permiten la protección del sureste de los Montes del Aguacate en la parte alta del distrito de La Granja, Palmares.

Se delimitaron cuatro parcelas de 20 m x 20 m (400 m²), en la Figura 1 se aprecia la ubicación de estas, las cuales tres están en zonas donde el bosque tiene alrededor de 15 años de haber sido intervenido y una se encuentra en la parte alta de la Reserva en donde el bosque tiene más de 15 años. El total de área muestreada fue de 1600 m².

Figura 1

Mapa de ubicación de las cuatro parcelas dentro de la Reserva Natural Madre Verde, La Granja, Palmares, Costa Rica



Nota. Mapa elaborado en Google Earth Pro y aplicación satelital en línea: Sistema Nacional de Información Territorial.

3.3. Técnicas, Instrumentos y Análisis de Datos

En este caso, para la evaluación de la estructura forestal y la propuesta de forestería análoga, se planificó llevar a cabo la investigación y trabajo de campo en tres etapas, las cuales se pueden dividir en evaluación, clasificación y propuesta.

3.3.1 Evaluación de la estructura forestal de la Reserva para determinar el índice de valor de importancia mediante la selección de árboles específicos.

Tabla 1

Técnica e instrumentos requeridos para el cumplimiento del objetivo específico 1

Técnica	Instrumento
Elección de parcelas de 20 m x 20 m	Cuerdas de construcción y cinta métrica
Medición e identificación de árboles con circunferencia mayor a 10 cm en los cuatro puntos seleccionados en sesiones de trabajo de 8:00 a.m. a 12:00 p.m.	Cinta métrica, dispositivo celular con las aplicaciones Tree Mapper y Notepad, Global Biodiversity Information Facility, Guía Dendrológica Costarricense y consulta a expertos naturalistas.
Cálculos estadísticos de la medición de los árboles	Hoja Excel y calculadora

Durante los días de trabajo, se llevaron a cabo tres visitas a la semana desde finales de julio hasta mediados de octubre, cada sesión extendiéndose por aproximadamente 4 horas. Para este estudio, se seleccionaron cuatro parcelas, cada una con dimensiones de 20 m x 20 m. Inicialmente, se planeaba realizar el muestreo en un total de 10 parcelas; sin embargo, basándonos en la tendencia observada en las primeras cuatro, se tomó la decisión de ajustar el enfoque, ya que los resultados previstos serían similares. La extensión total de área muestreada fue de 1600 m², con distancias aproximadamente 1,5 km desde la entrada de la Reserva para tres de las parcelas y 2,5 km para la cuarta.

Todos los árboles seleccionados para el muestreo tenían un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o superior a 3.2 cm, equivalente circunferencia a la altura del pecho (CAP) de 10 cm. Las mediciones de las parcelas y de los diámetros de los árboles se llevaron a cabo con cinta métrica y cuerda de construcción. Los datos se registraron directamente en una hoja de Excel mediante un dispositivo móvil Android, y cualquier observación adicional se anotó en Notepad.

Con el propósito de mantener un registro detallado de los especímenes muestreados, se empleó la aplicación TreeMapper para complementar el inventario. Esta herramienta tecnológica facilitó la organización y gestión eficiente de la información recopilada durante el proceso de muestreo. Además, se realizaron cálculos de área basal, frecuencia, densidad e Índice de Valor de Importancia (IVI) para las especies identificadas. Los cálculos estadísticos de los árboles que se detallan en la Tabla 1, se pueden mencionar específicamente: $(IVI = \text{Frecuencia Relativa} + \text{Densidad Relativa} + \text{Área Basal Relativa})$. A través de estos cálculos, se obtuvo una medida cuantitativa que refleja la contribución relativa de cada especie a la estructura global del bosque bajo estudio.

3.3.2 Medición de la cobertura boscosa en la Reserva con el fin de describir los estratos del bosque por medio de un cálculo de la distribución diamétrica.

Tabla 2

Técnicas e instrumentos requeridos para el cumplimiento del objetivo específico 2

Técnica	Instrumento
Análisis de los datos obtenidos para elaboración de tablas	Hoja Excel, calculadora y computadora
Observación y registro del bosque para la descripción de la estructura y estratos, en cada parcela	Binoculares Nikon 12x42, dispositivo móvil Android con cámara

El análisis de datos obtenido mencionados en la técnica de la Tabla 2, se refiere a la siguiente clasificación: los árboles con un DAP superior a 3.2 cm, dividiéndolos en categorías según sus diámetros, que comprenden desde los 5 cm hasta los 10 cm, y aquellos con dimensiones superiores a los 10 cm. La recopilación de estos datos se ejecutó y se registró en hojas de Excel, a partir de las cuales se elaboraron tablas con el objetivo de ofrecer una representación de la distribución diamétrica en el bosque.

Con el propósito de caracterizar de manera integral los distintos estratos del bosque, se llevó a cabo una descripción minuciosa de cada uno, centrándose en el estrato superior,

intermedio e inferior. Estas actividades fueron realizadas de manera intercalada durante los periodos mencionados anteriormente. En este proceso, se analizaron los árboles muestreados según el DAP, su distribución y posición en los estratos, proporcionando así una visión completa de la estructura vertical y la composición del bosque.

3.3.3 Comparación de cambios en la cobertura forestal utilizando imágenes satelitales para respaldar propuestas de forestería análoga.

Tabla 3

Técnicas e instrumentos requeridos para el cumplimiento del objetivo específico 3

Técnica	Instrumento
Ilustración y representación gráfica del bosque	Computadora, Google Earth pro, GIS, sitio web SNIT
Georeferenciación de los sitios de muestreo	Teléfono móvil Android, aplicación Google Earth Pro, GPS
Diseño de modelos silviculturales	Computadora, Windows 10 pro, Canva

Se generó un mapa digital empleando GIS, con el propósito de visualizar de manera gráfica la cobertura forestal de la Reserva. Simultáneamente, se georeferenciaron las parcelas utilizando el GPS de Google Earth Pro en un dispositivo móvil Android. A través del Sistema Nacional de Información Territorial, se obtuvieron tres fotografías satelitales que permitieron realizar una comparación de la cobertura boscosa en distintos periodos: antes, después y en la actualidad de la Reserva.

Adicionalmente, se crearon modelos de forestería análoga, utilizando los datos recopilados a lo largo de la investigación, como lo detalla la Tabla 3 el instrumentos para realizar estos fueron en Canva. Estos modelos están diseñados para su implementación en áreas circundantes o en aquellas en que se necesita restaurar los suelos. Asimismo, buscan establecer árboles con funciones ecológicas similares, fomentando prácticas forestales más equilibradas y

sostenibles. Estos modelos de forestería análoga buscan no solo conservar sino mejorar la salud y la diversidad del bosque en el tiempo.

IV. Resultados

4.1 Evaluación de la Estructura Forestal de la Reserva para Determinar el Índice de Valor de Importancia Mediante la Selección de Árboles Específicos

En relación con la composición florística, en las cuatro parcelas se contabilizaron un total de 142 individuos con un DAP superior a 3,2 cm (10 cm CAP), lo que equivale a una densidad de 887,5 árboles por hectárea. Se registraron un total de 19 especies pertenecientes a 12 familias distintas. Es necesario destacar la presencia de ocho especies de *Ficus* sp en la Reserva, las cuales fueron consolidadas como una sola entidad en el inventario.

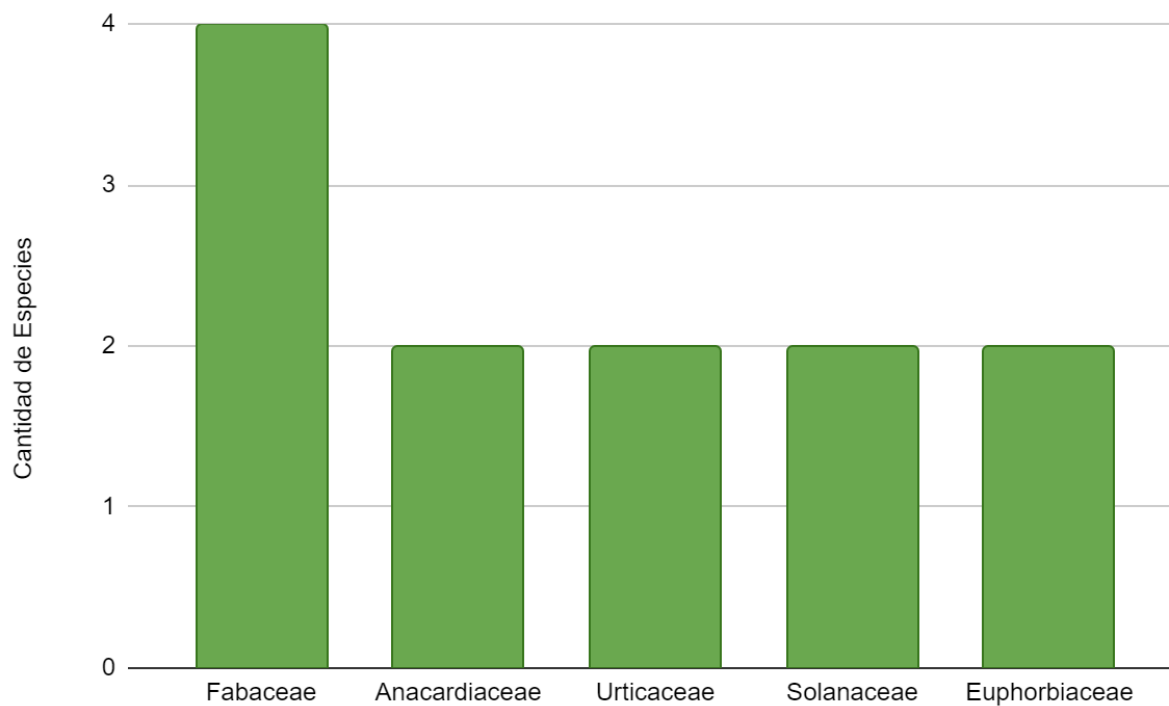
La familia con mayor frecuencia fue la Fabaceae, con 4 especies, distribuidas en las cuatro parcelas seleccionadas, se puede apreciar en la Figura 2 y en el Anexo A.

La parcela # 2 fue la que presentó mayor cantidad de individuos con un total de 43 árboles, así como también mayor riqueza, ya que, en esta se identificaron 12 especies. La especie con mayor abundancia fue *Conostegia xalapensis* (Anexo A) abarcando el 32,55 % del total.

La parcela # 1, en contraste, contabilizó la menor cantidad de árboles y especies, con 28 individuos distribuidos en 9 especies. Similar a la parcela #2, *Conostegia xalapensis* fue la especie más abundante, constituyendo el 25 % del total de esa parcela. El promedio de árboles por parcela fue de 35.5 individuos.

Figura 2

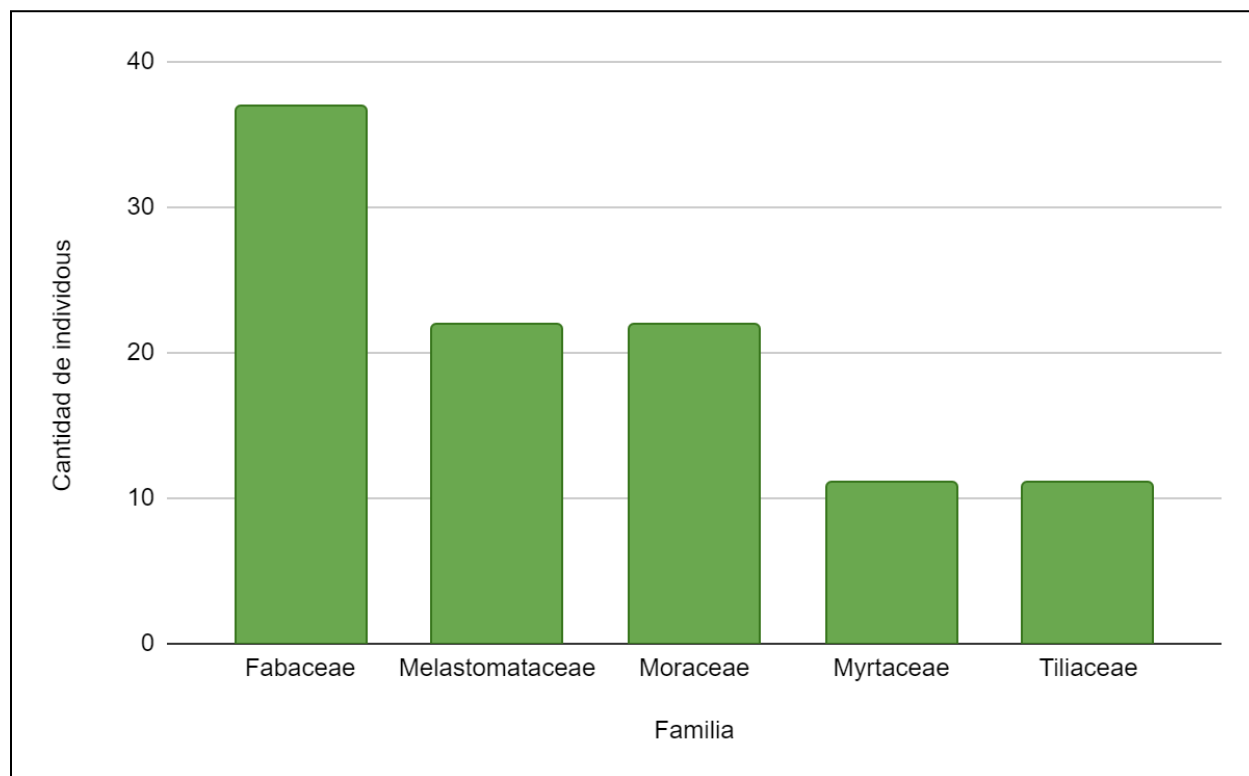
Familias con mayor riqueza de especies



En la Figura 3 se presentan las seis familias con mayor abundancia de individuos, totalizando 118 árboles de los 142 registrados en todas las parcelas. Estos resultados ofrecen una visión detallada de la diversidad y distribución de la flora en el área de estudio.

Figura 3

Familias con mayor abundancia de individuos en todas las parcelas



Con respecto al IVI total de las parcelas, destaca *Zygia longifolia* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose (Anexo A) como el árbol más abundante, con un total de 26 individuos, representando el 18.3 % del inventario (IVI 63.8 %). Le sigue *Conostegia xalapensis*, con 22 individuos, equivalente al 15.49 % (IVI 38.4 %). En una posición menos predominante se encuentran *Heliocarpus appendiculatus* Turcz y *Psidium guajava* L., ambas con 11 individuos cada una (7.74% respectivamente).

Es relevante mencionar que ninguna especie se encontró en las cuatro parcelas, pero se identificaron 9 especies presentes en 3 de ellas: *Mangifera indica*, *Croton draco* Schltdl, *Robinsonella lindeniana* (Turcz.) Rose & Baker, *Xylosma intermedia* (Seem.) Triana & Planch., y *Siparuna thecaphora* (Poepp. & Endl.), representadas por un individuo cada una. Por otro lado, *Sapium glandulosum* (L.) Morong se registró en una sola parcela con 2 individuos.

En términos de dominancia, *Zygia longifolia* lidera con el mayor porcentaje de área basal, alcanzando el 38.4 % del total. En la Tabla 4 se aprecia que el 52.6 % de las especies poseen un área basal inferior al 1 % del total, resaltando la variabilidad en la distribución de la densidad y cobertura de las especies en el área de estudio. Estos resultados proporcionan una visión detallada de la estructura y composición de la comunidad forestal en las parcelas estudiadas.

Tabla 4

Índice de Valor de Importancia (IVI= Frecuencia Relativa + Densidad Relativa + Área Basal Relativa) de las especies con un DAP mayor a 3.2 cm (10 Cm CAP), en las cuatro parcelas en la Reserva

Especie	Frec Rel (%)	Den Rel (%)	Area Bas Rel (%)	IVI (%)
<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose	7.14	18.3	38.41	63.85
<i>Conostegia xalapensis</i> D.Don	7.14	15.49	15.78	38.41
<i>Ficus</i> sp.*	9.52	15.48	19.17	44.17
<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.	7.14	7.74	6.96	21.84
<i>Psidium guajava</i> L.	7.14	7.74	5.54	20.42
<i>Spondias purpurea</i> L.	7.14	6.33	1.84	15.31
Fam. Urticaceae	7.14	5.6	1.34	14.08
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	7.14	4.92	5.79	17.85
<i>Iochroma arborescens</i> (L.) J.M.H. Shaw	4.76	4.22	0.434	9.414
<i>Senna papillosa</i> (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby	7.14	3.52	2.65	13.31
<i>Cojoba arborea</i> (L.) Britton & Rose	7.14	2.81	0.83	10.78
<i>Tabebuia ochracea</i> A.H.Gentry	4.76	1.4	0.03	6.19

Especie	Frec Rel (%)	Den Rel (%)	Area Bas Rel (%)	IVI (%)
<i>Inga densiflora</i> Benth.	2.38	1.4	0.56	4.34
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	2.38	1.4	0.52	4.3
<i>Croton draco</i> Schltdl.	2.38	0.7	0.03	3.11
<i>Robinsonella lindeniana</i> (Turcz.) Rose & Baker	2.38	0.7	0.02	3.1
<i>Mangifera indica</i>	2.38	0.7	0.009	3.089
<i>Siparuna thecaphora</i> (Poepp. & Endl.) A.DC	2.38	0.7	0.005	3.085
<i>Xylosma intermedia</i> (Seem.) Triana & Planch.	2.38	0.7	0.005	3.085

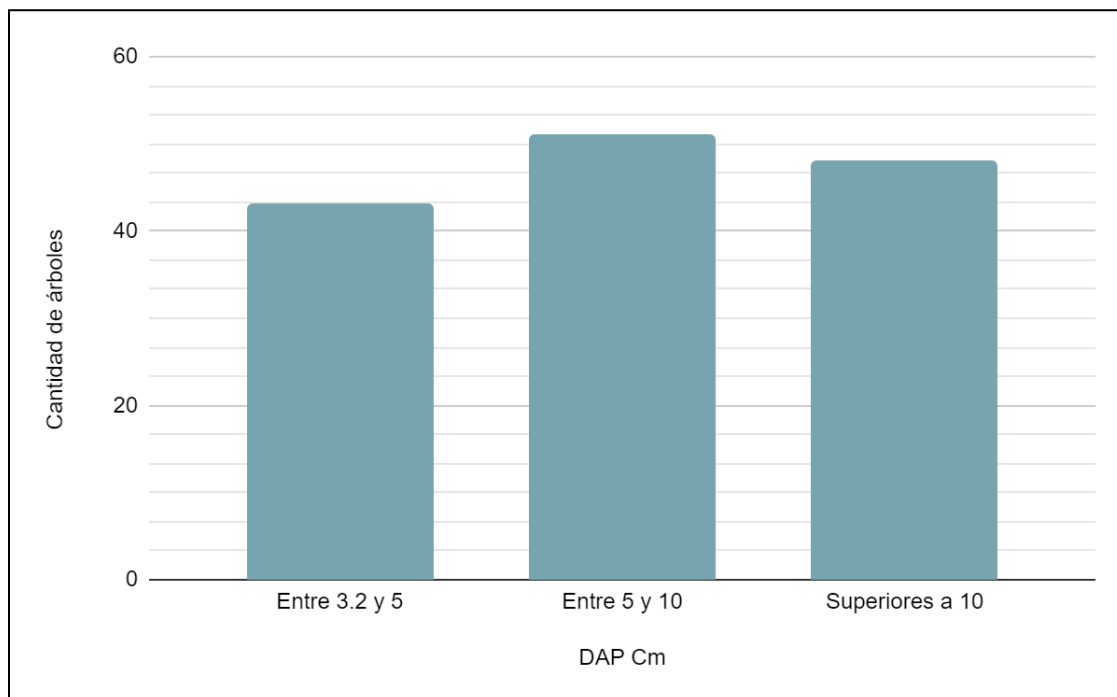
4.2 Medición de la Cobertura Boscosa en la Reserva con el Fin de Describir los Estratos del Bosque por medio de un Cálculo de la Distribución Diamétrica

El DAP máximo registrado fue de 28.3 cm (88.9 CAP) y pertenece al árbol de la especie *Sapium glandulosum*. El promedio de DAP para todas las parcelas fue de 9.9 cm. La mayoría de los árboles, específicamente 51 individuos, presentan DAPs entre 5 cm y 10 cm, indicando la presencia de individuos más jóvenes (Figura 4). Es esencial tener en cuenta que tres de las cuatro parcelas están ubicadas en terrenos con fuerte inclinación y, en algunas áreas, con presencia de rocas.

La distribución diamétrica de todos los árboles medidos en las parcelas revela que el 69.7 % de los individuos registrados poseen un DAP superior a 5 cm. Esta tendencia sugiere un avance hacia la estratificación progresiva del bosque.

Figura 4

Clasificación y cantidad de árboles totales según su DAP



En la parcela #1, se observó que el 50% de los árboles poseen un DAP superior a 10 cm, con un total de 28 individuos pertenecientes a 9 especies. El estrato inferior, abarcando la mitad de la parcela, se caracterizó por la presencia de Poaceae y ramas delgadas caídas, fenómeno atribuible a la proximidad de una población de bambú gigante. Es importante destacar que esta parcela exhibió la menor cantidad de individuos y especies en comparación con las demás.

La movilidad dentro de la parcela se vio dificultada debido a la pronunciada inclinación y a la densidad de arbustos y plantas con un DAP inferior a 3.2 cm. Se evidenció algún tipo de intervención, específicamente en términos de manejo forestal, sugiriendo que no todas las características son, resultado, únicamente de la sucesión natural del bosque.

El estrato intermedio se presenta como denso y predomina la especie *Conostegia xalapensis*, con numerosos individuos que muestran un DAP inferior a 3.2 cm. La mayoría de los árboles muestreados en la parcela (Figura 5) parecen no superar los 15 años, clasificándose como árboles emergentes. Algunas áreas de la parcela reciben luz solar directa debido a la dispersión de los árboles entre el bambú, con crecimiento de maleza y arbustos. Destacan la presencia de

individuos de *Cecropia obtusifolia* e *Inga densiflora* en el estrato superior. Estos individuos sobresalen en el paisaje, indicando la diversidad estructural y la influencia de varios factores en la dinámica del bosque en esta parcela en particular.

Figura 5

Estrato inferior y medio, parcela #1



La parcela #2 destacó al presentar la mayor cantidad de individuos, con un total de 42, y también exhibió la mayor diversidad de especies con un total de 12. Entre todas las parcelas, esta se distingue por albergar el 81.3% de individuos con tallos largos y altos, con un DAP entre 3.2 cm y 10 cm. En forma similar a la parcela #1, la abundancia de individuos con un DAP inferior a 3.2 cm fue importante, dominando especialmente el estrato intermedio, como se aprecia en la Figura 6.

El terreno resbaladizo debido a la tierra mojada, la inclinación y la densidad de la vegetación, complicó el acceso en toda la parcela. En el estrato superior, se observa una escasez de individuos, destacándose solo dos ejemplares de *Ficus* sp* que emergen por encima del dosel. Además, se identifican numerosos parches de sol, propiciando el crecimiento de Poaceae, aunque la presencia de esta vegetación puede variar en la época seca. La especie dominante en esta parcela, al igual que en la anterior, fue *Conostegia xalapensis*, lo que sugiere que en el estado de regeneración de ambas parcelas, esta especie desempeña un papel crucial en la fisonomía de las mismas.

Figura 6

Suelo y sotobosque en la parcela #2



En la parcela #3 se implementó un programa de restauración mediante la plantación de la especie *Zygia longifolia*, la cual representó el 37.8% de la composición (Figura 7). Esta parcela, con un total de 37 árboles y 11 especies, se destacó como la segunda con mayor diversidad. Se evidenció un equilibrio en el DAP de los árboles muestreados en esta parcela.

En cuanto a los estratos, en el inferior predominan hojas secas, troncos caídos y material orgánico acumulado, facilitando la movilidad dentro de la parcela. La cantidad de plantas y árboles con un DAP inferior a 3.2 cm fue notablemente menor en comparación con las parcelas anteriores, siendo las heliconias las que dominan el suelo bajo la sombra, característica

pronunciada en esta parcela. Los espacios en el estrato intermedio eran abundantes, con pocos individuos creciendo bajo el dosel. La especie *Zygia longifolia* ha desempeñado un papel crucial en las características fisonómicas de la parcela y ha influido en la altura del dosel, dado que los árboles más grandes de esta parcela son prominentes de esta especie.

La sombra generada ha conferido un aspecto distintivo a esta parcela en comparación con las anteriores, donde la entrada de luz solar permitía observar poblaciones de poaceae en el estrato inferior. Los dos individuos con mayor DAP de todas las parcelas se encuentran en ésta, y corresponden a las especies *Sapium glandulosum* con un DAP de 28.3 cm y *Zygia longifolia* con un DAP de 26.2 cm. Es importante mencionar que en esta parcela no se registró ni un solo individuo de *Conostegia xalapensis*, la cual constituye la segunda especie con mayor densidad del muestreo total.

Figura 7

Zygia longifolia en la parcela #3



En la parcela #4, el 78% de los árboles muestreados exhibieron un DAP superior a 5 cm. Esta parcela aparentaba tener los árboles más maduros de las cuatro, evidenciado por el aspecto de los troncos. Las especies que registraron los mayores DAP fueron *Ficus* sp* (24.4 cm), *Senna papillosa* (23.4 cm), *Heliocarpus appendiculatus* (17.7 cm) y *Cojoba arborea* (15.1 cm). Las dos

especies más abundantes fueron *Heliocarpus appendiculatus* y *Ficus* sp., constituyendo el 54.5% del total de individuos muestreados.

Esta parcela presentó la mayor inclinación de todas, con ángulos superiores a 45°, otorgándole un aspecto de barranco con grandes formaciones rocosas. El estrato inferior estaba dominado por heliconiaceae, troncos podridos, hojas y rocas grandes. Debido a las condiciones del terreno, algunos tallos y troncos de los árboles estaban fuertemente inclinados, y en algunos casos caían sobre otros. Se observó una cantidad considerable de plántulas y brotes de *Ficus* sp., mientras que los individuos de *Ioichroma arborescens* crecían con aspecto de lianas, delgados y sujetos al estrato superior del bosque.

En la Figura 8 se aprecia un ejemplar de *Cojoba arborea* caído sobre otro de la misma especie, así como los tallos largos y estirados de algunos individuos de *Ioichroma arborescens*. En el estrato superior, el dosel formado por las copas anchas de las especies *Heliocarpus appendiculatus* y *Senna papillosa*, junto con plantas epífitas y material orgánico, genera una densa sombra para los estratos inferiores.

Figura 8

Estrato superior en la parcela #4



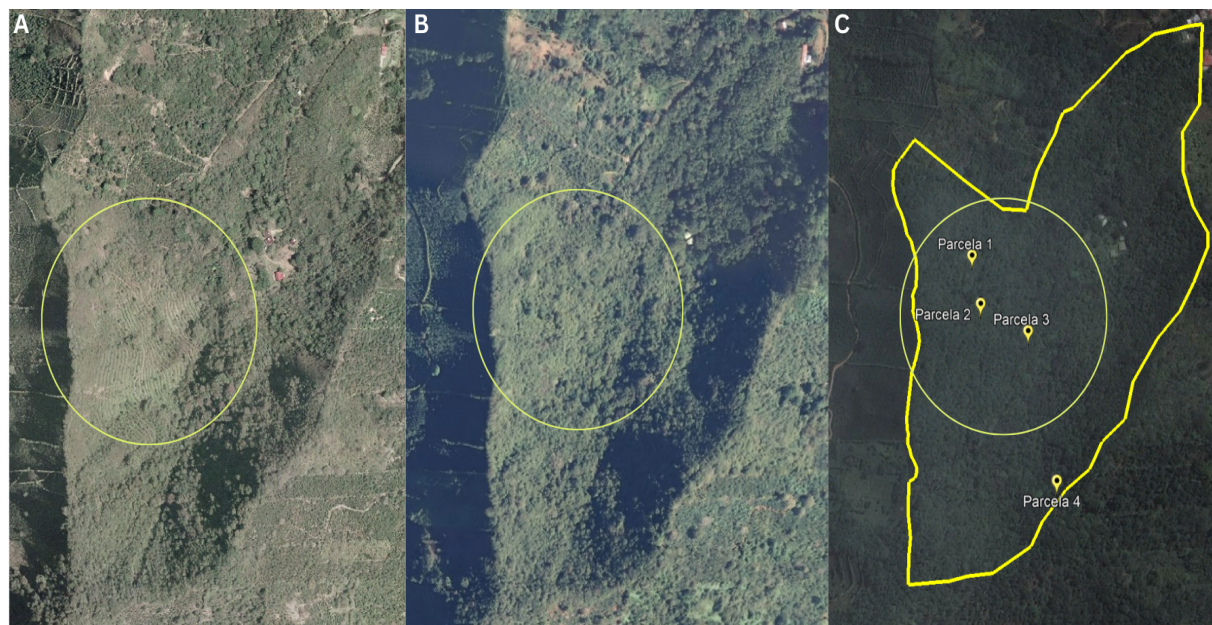
4.3 Comparación de Cambios en la Cobertura Forestal Utilizando Imágenes Satelitales para Respaldar Propuestas de Forestería Análoga

La cobertura forestal en la Reserva ha experimentado cambios significativos, como se ha corroborado a través del análisis del Sistema Nacional de Información Territorial, respaldado por imágenes de registro histórico (Figura 9). Es importante señalar que, según los registros de cobertura forestal derivados de estudios florísticos recientes, se ha determinado la presencia de pastizales y matorrales como parte de la cobertura vegetal en el pasado. Durante el recorrido por la Reserva, se pudo observar que la cobertura boscosa se caracteriza actualmente por ser un bosque secundario, variando en densidad de ralo a denso, sin dejar de considerar los remanentes preexistentes. Esta cobertura boscosa contribuye significativamente a la biodiversidad. En los meses de visita a la Reserva, se registraron casi a diario especies como guatusas (*Dasyprocta punctata*), coatíes (*Nasua narica*), toledos (*Chiroxiphia linearis*), chachalacas (*Ortalis cinereiceps*) y tucanes pico de arcoiris (*Ramphastos sulfuratus*), todas estas de gran importancia para el turismo.

En la Figura 9, el Mapa A muestra una imagen tomada antes del año 2000, donde se pueden identificar plantaciones de café, pastizales y sombras de árboles. En el Mapa B, imagen tomada entre 2005 y 2007 según el Sistema Nacional de Información Territorial, ya no se aprecian las hileras de plantas de café, y se observa mejor cobertura vegetal, aunque aún se pueden distinguir sombras de árboles más grandes sobre áreas que probablemente corresponden a matorrales y árboles en crecimiento. Por último, en el Mapa C, que representa la cobertura actual de la Reserva, se destaca una cobertura vegetal más uniforme, sin sombras evidentes de árboles. La comparación de la ubicación de las tres parcelas con el registro de las imágenes satelitales confirma que en definitiva hay cambios en la cobertura vegetal y el programa de restauración de la Reserva ha funcionado.

Figura 9

Cobertura forestal en la Reserva en distintos periodos (imágenes satelitales del Sistema Nacional de Información Territorial)



Nota. Mapa elaborado en Google Earth Pro y aplicación satelital en línea: Sistema Nacional de Información Territorial.

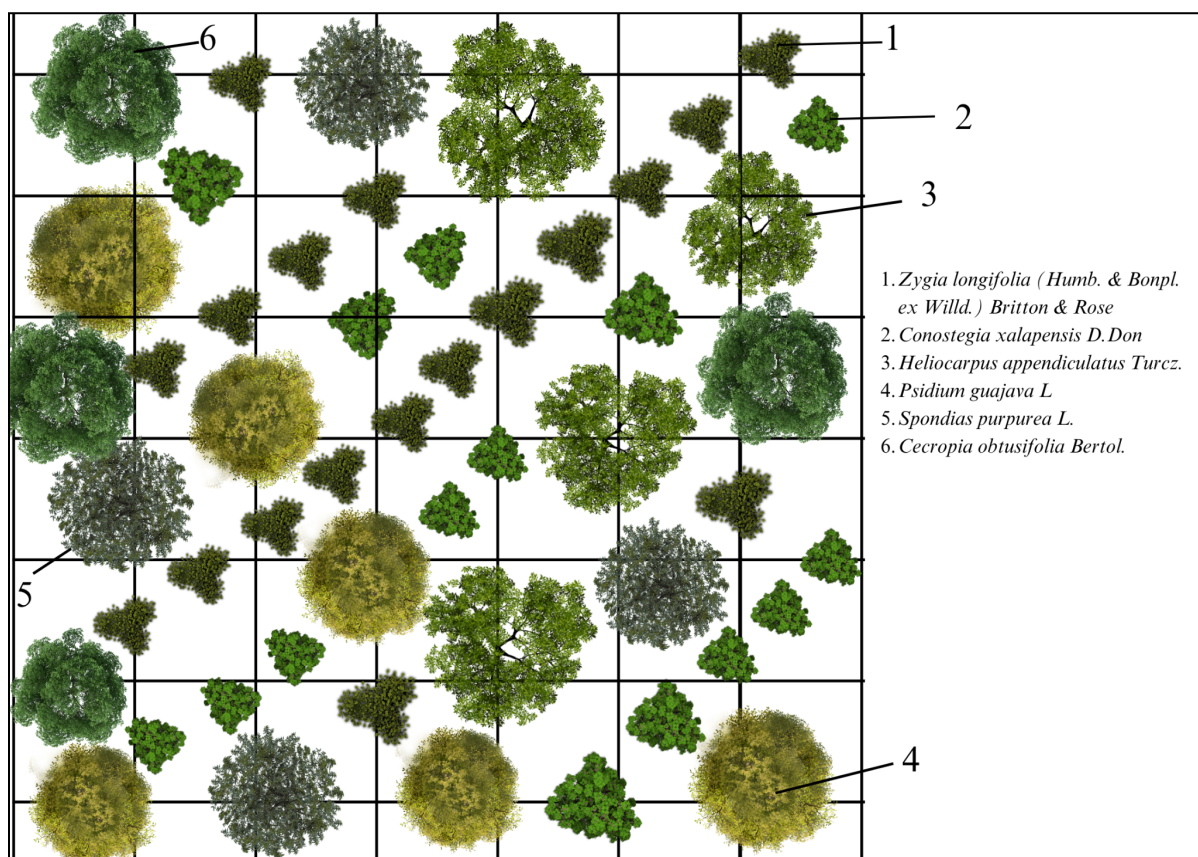
En la Figura 10 se aprecia una vista del paisaje actual, en contraste con la finca de ganadería, pastizales y cafetal en el pasado.

Figura 10

Paisaje actual de la Reserva



En la Figura 11 se puede apreciar la ubicación y la distribución de las especies que se sugieren para una parcela. Este diseño puede ser aplicado para distintos tamaños de parcelas, y también permite de ser necesario, agregar o remover especies según el objetivo perseguido. La cantidad de individuos a ser incluidos en el diseño igualmente dependerá de la respectiva implementación del plan de trabajo.

Figura 11*Propuesta de diseño de forestería análoga*

V. Discusión

5.1 Evaluación de la Estructura Forestal de la Reserva Para Determinar el Índice de Valor de Importancia Mediante la Selección de Árboles Específicos

La evaluación de la estructura forestal de la Reserva, enfocada en la definición del Índice de Valor de Importancia (IVI) mediante la selección de árboles específicos, ha proporcionado una visión detallada de la composición florística y la distribución de la diversidad en las cuatro parcelas estudiadas. En términos de densidad, se registraron un total de 142 individuos con un DAP superior a 3.2 cm, equivalente a 887.5 árboles por hectárea en los 1600 m² de área total. Rodríguez (2009) registró 706 árboles por hectárea con un DAP superior a 5 cm en una parcela de 3500 m². Este hallazgo subraya la importancia de la Reserva como un hábitat propicio para el desarrollo de una comunidad arbórea diversa. La identificación de 19 especies pertenecientes a 12 familias distintas indica que la riqueza biológica presente en las parcelas es buena y está en desarrollo. Cabe recalcar que tres de las parcelas que se midieron fueron anteriormente pastos o cafetales, por lo que el cambio de la cobertura vegetal es importante.

Las familias Fabaceae, Melastomataceae y Anacardiaceae se destacaron como las más frecuentes. La parcela #2 en estado de regeneración natural y sin aparente intervención, emergió como la más rica en términos de diversidad, con 43 árboles y 12 especies identificadas. *Conostegia xalapensis* fue la especie más abundante, abarcando el 32.55% del total en esta parcela. En contraste, la parcela #1 tenía población de poaceae en los alrededores, perturbando el dosel inferior del bosque, y exhibió la menor cantidad de árboles y especies, con *Conostegia xalapensis* entre ellas nuevamente.

En cuanto al IVI total de las parcelas, *Zygia longifolia* se posiciona como el árbol más abundante, contribuyendo significativamente al 18.3% del inventario total con un IVI del 63.8%. *Conostegia xalapensis* le sigue en importancia, representando el 15.49% con un IVI del 38.4%. Estos hallazgos son importantes para comprender el comportamiento de las especies en bosques con regeneración, ya sea en áreas con intervención o en sucesión natural, y proveen datos relevantes sobre estructura y composición del bosque.

Es notable que ninguna especie se encontró en todas las cuatro parcelas, pero la presencia de nueve especies en al menos tres de ellas señala patrones de distribución relativamente buenos. Las especies *Mangifera indica*, *Croton draco*, *Robinsonella lindeniana*, *Xylosma intermedia* y *Siparuna thecaphora* tuvieron un solo registro cada una, lo cual puede ser un indicio de que árboles más alejados de las parcelas estudiadas, se han dispersado de manera exitosa.

En conjunto, estos resultados ofrecen una comprensión profunda de la estructura y composición de la comunidad forestal en las parcelas estudiadas, proporcionando información valiosa en este caso para la propuesta de sistemas de agroforestería análoga.

5.2 Medición de la Cobertura Boscosa en la Reserva con el Fin de Describir los Estratos del Bosque Por Medio del Cálculo de la Distribución Diamétrica

Los resultados obtenidos a través de la evaluación detallada de las cuatro parcelas de la Reserva revelan aspectos significativos de la estructura y dinámica del bosque. En primer lugar, el análisis del DAP proporciona información valiosa sobre la madurez y otras características físicas. La mayoría de los árboles, representados por 51 individuos con un DAP entre 5 cm y 10 cm, indican una presencia significativa de árboles en crecimiento y posibles especies pioneras. Esta tendencia sugiere un avance hacia la estratificación progresiva del bosque, señalando un proceso de regeneración y sucesión natural. Sin embargo, la influencia de la topografía, con tres de las parcelas ubicadas en terrenos inclinados y rocosos, agrega un matiz importante a la interpretación de estos resultados.

La diversidad y estructura de las parcelas también presentan variaciones significativas. La parcela #1 caracterizada por su topografía y la cercanía a una población de bambú gigante, presentó menos individuos y especies que el resto. La dinámica del bosque no se ve del todo afectada por el bambú, sin embargo, esto demuestra que en ocasiones puede ser necesaria la intervención aún después de 15 años de proceso, para mejorar el desarrollo del estado de regeneración natural.

La parcela #2 destaca al albergar la mayor cantidad de individuos y especies. Esta característica se da debido a que esta parcela carece de un estrato superior con dosel denso. Esta parcela no tiene el aspecto de haber sido intervenida directamente por medio de algún plan de manejo, y es el producto de la dispersión natural de semilla y de regeneración. Este hallazgo resalta la importancia de considerar no solo la composición de la vegetación, sino también las condiciones del entorno que pueden afectar la distribución de las especies. Adicionalmente, la presencia de parches de sol propicia el crecimiento de Poaceae, aunque la presencia de esta vegetación podría variar durante la época seca.

En estas primeras dos parcelas, la especie *Conostegia xalapensis* juega un papel crucial en el proceso de regeneración de ambas áreas. El patrón observado en cuanto a su importancia ecológica y como especie pionera, es un dato crucial para la futura elaboración de viveros.

En la parcela #3 se evidenció el uso de la especie *Zygia longifolia* en la implementación del plan de restauración. Este enfoque de restauración ha resultado en una composición notablemente diferente en comparación con las parcelas anteriores, ya que el 37.8% de la composición de esta parcela corresponde a la especie mencionada. La especie *Zygia longifolia*, como lo menciona Cortes (2021), tiene una gran capacidad para evitar la pérdida de suelo y conservar nacientes de agua. La producción de sombra es considerable gracias a las ramificaciones, que se despliegan del tronco a pocos metros del suelo. Es probable que en la Reserva se haya aprovechado por su capacidad de sobrevivir a condiciones extremas. La efectividad del programa de restauración en esta parcela se puede valorar con los datos recopilados. El equilibrio en el diámetro a la altura del pecho de los árboles muestreados es un indicador positivo de la salud y el desarrollo uniforme de la vegetación, señalando el éxito de las prácticas de restauración implementadas. Esta especie es crucial en las características fisonómicas de la parcela, influyendo en la altura del dosel, los árboles más grandes de esta parcela son prominentes de esta especie, lo que sugiere su capacidad para alcanzar alturas

considerables y desempeñar un papel significativo en la estructura del bosque restaurado. La cantidad de sombra ha conllevado al crecimiento de heliconias, y otras especies adaptadas a la vida bajo la sombra. Al contrario de las otras parcelas con mucho sol, en esta no se ve ningún individuo de *Conostegia xalapensis*.

En la parcela #4, la topografía pronunciada y las formaciones rocosas agregaron complejidad a la investigación y probablemente, afectaron los datos registrados. El terreno inclinado con ángulos superiores a 45°, le confiere un aspecto de barranco con grandes formaciones rocosas. Esta topografía única puede tener implicaciones importantes en la dinámica hidrológica y en la distribución de especies en el área de estudio. Además, la inclinación del terreno contribuye a la presencia de troncos y tallos fuertemente inclinados, algunos de los cuales caen sobre otros, creando un entorno más complejo en la estructura del bosque. En apariencia esta parcela en comparación con las otras, lleva muchos más años bajo algún esquema de conservación. Sin embargo, se ubica en la cresta de la montaña, con suelos poco profundos, lo cual tiene que tomarse en cuenta al registrar los datos.

En el estrato inferior se observan plántulas, brotes nuevos, heliconias y algunos troncos podridos de considerable edad, los cuales demuestran que este bosque se ha conservado por mucho tiempo en estado natural. Los individuos de *Iochroma arborescens* crecen como lianas delgadas y sujetas al estrato superior del bosque, mostrando adaptaciones específicas a las condiciones del entorno. En el estrato superior, el dosel formado por las copas anchas de las especies *Heliocarpus appendiculatus* y *Senna papillosa*, junto con plantas epifitas y material orgánico, generan una densa sombra para los estratos inferiores. Esta condición puede tener implicaciones importantes en la competencia por la luz y la distribución de la estructura vegetal en estratos inferiores.

En conjunto, los resultados subrayan la diversidad estructural y la dinámica compleja del bosque en la Reserva. La presencia de especies clave, la influencia de la topografía y las

evidencias de intervención humana son factores importantes a considerar en la interpretación de la ecología y la regeneración del bosque. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para desarrollar una propuesta de forestería análoga, respaldada por el análisis del sistema clímax.

5.3 Comparación de Cambios en la Cobertura Forestal Utilizando Imágenes Satelitales para Respaldo Propuestas de Forestería Análoga

La evolución de la cobertura forestal en la Reserva fue analizada mediante imágenes históricas del registro del Sistema Nacional de Información Territorial. La investigación reveló cambios sustanciales en la composición del paisaje a lo largo del tiempo. De acuerdo con registros de cobertura forestal derivados de estudios florísticos anteriores, se observó la inclusión de pastizales y matorrales como componentes de la cobertura vegetal, indicando transformaciones significativas en el ecosistema en los últimos años.

Se constató que la cobertura boscosa actual se caracteriza predominantemente como un bosque secundario, que varía en densidad desde ralo hasta denso, considerando también los remanentes preexistentes. Estos datos coinciden con Rodríguez (2023) que realizó un estudio de los cambios florísticos en la Reserva. El estudio indica que en un periodo de 15 años (2005-2020), la cobertura vegetal pasó de pasto y charral a bosque secundario. Cabe destacar que Rodríguez indica que el proceso de restauración fue acompañado por trabajos intensos de control de pastos durante los primeros 8 años del proyecto. Esta dinámica de sucesión forestal no solo evidencia la capacidad de regeneración del ecosistema, sino que también subraya la importancia de la gestión y conservación adecuada.

La contribución sustancial de esta cobertura boscosa a la biodiversidad fue claramente perceptible durante los meses de visita a la Reserva. Se registraron especies como guatusas (*Dasyprocta punctata*), pizotes (*Nasua narica*), toledos (*Chiroxiphia linearis*), chachalacas (*Ortalis cinereiceps*) y tucanes pico de arcoiris (*Ramphastos sulfuratus*), todas estas de gran relevancia para el turismo. Esto también denota la vitalidad del ecosistema y su papel como hábitat para diversas formas de vida.

La comparación de la ubicación de las tres parcelas con el registro de las imágenes satelitales confirma inequívocamente cambios significativos en la cobertura vegetal a lo largo del

tiempo. Estos resultados respaldan la efectividad del programa de restauración de la Reserva, que ha influido positivamente en la regeneración del ecosistema y ha llevado a una cobertura vegetal más saludable y uniforme. Este enfoque de gestión sostenible y restauración proporciona valiosas lecciones para la conservación de áreas naturales y la promoción de la biodiversidad.

La identificación de especies arbóreas clave, basada en datos del índice de valor de importancia y la información detallada sobre la composición y estructura de las parcelas, ha permitido desarrollar un diseño que desempeña un papel crucial en la regeneración y los diversos estados de sucesión en la Reserva. Este diseño, fundamentado en la comunidad vegetal clímax de las parcelas, ha demostrado su éxito y su impacto positivo en la mejora de los servicios ecosistémicos en este entorno específico.

Las especies seleccionadas para este diseño, *Zygia longifolia*, *Conostegia xalapensis*, *Heliocarpus appendiculatus*, *Psidium guajava*, *Spondias purpurea* y *Cecropia obtusifolia* no solo han destacado en términos de IVI, sino que también se consideran idóneas para promover la regeneración y fortalecer la resiliencia del ecosistema. Tal como lo menciona en su investigación Rodríguez (2023), algunas de estas especies son pioneras y favorecen la regeneración natural al crear sombras que reducen los pastos. Este enfoque de diseño y selección de especies emerge como una estrategia efectiva para la restauración de áreas degradadas.

En el diseño se presenta la ubicación y distribución de estas especies en una parcela, proporcionando una visualización clara de cómo se integrarían en la propuesta. Cabe destacar que este diseño puede ser adaptado para diferentes tamaños de parcelas, y se ofrece la flexibilidad de agregar o eliminar especies según las necesidades específicas del objetivo requerido. La cantidad de individuos a incluir también dependerá de la implementación del plan de trabajo, permitiendo así una personalización eficiente y eficaz de la estrategia de restauración.

Esta propuesta de diseño forestal análogo no solo representa una herramienta valiosa para la recuperación de áreas degradadas, sino que también ofrece beneficios socioambientales y ecológicos. La aplicación de este enfoque puede generar una contribución significativa a la conservación y restauración de ecosistemas, asegurando la continuidad y la vitalidad de la biodiversidad en la Reserva y en áreas similares.

VI. Conclusiones

6.1 Evaluación de la Estructura Forestal de la Reserva Para Determinar el Índice de Valor de Importancia Mediante la Selección de Árboles Específicos

Es evidente que comprender que la toma de datos de campo, posterior a desarrollar un proyecto de reforestación o algún tipo de intervención para la recuperación de áreas degradadas, es necesario para asimilar la diversidad y ecología del bosque clímax. Entre más precisos son los datos iniciales, el éxito para la propuesta de proyectos será mayor.

Según el IVI, *Zygia longifolia* y *Conostegia xalapensis* son las especies más influyentes en el inventario total de las parcelas. En términos generales, la Reserva demuestra ser un hábitat propicio para la sucesión natural de las comunidades arbóreas.

Estos resultados son esenciales para comprender los comportamientos de las especies en áreas de regeneración, ya sea en entornos intervenidos o en sucesión natural. El análisis respalda la importancia de la Reserva como un ecosistema dinámico. Los datos de este inventario son la base para determinar qué especies serán tomadas en cuenta para la propuesta de forestería análoga.

6.2 Medición de la Cobertura Boscosa en la Reserva con el Fin de Describir los Estratos del Bosque Por Medio del Cálculo de la Distribución Diamétrica

El análisis del diámetro a la altura del pecho (DAP) proporciona información valiosa sobre la madurez y otras características físicas del bosque. Los resultados en conjunto resaltan la diversidad de la estructura y la dinámica que ha desarrollado el bosque, constituyendo también evidencia de un plan de trabajo realizado de manera correcta. Es decir, los patrones observados sugieren que el bosque experimenta un proceso positivo de regeneración y sucesión natural.

Las especies clave en la regeneración, como árboles pioneros de las distintas etapas de sucesión natural, indican el éxito y la salud de la restauración. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para desarrollar una propuesta de forestería análoga, respaldada por el estudio del sistema análogo y orientada hacia la sostenibilidad y conservación del ecosistema forestal en la Reserva.

La topografía y características específicas de cada parcela impactan la dinámica hidrológica del terreno y, por ende, contribuye a los resultados finales de cada muestreo.

6.3 Comparación de Cambios en la Cobertura Forestal Utilizando Imágenes Satelitales para Respaldo Propuestas de Forestería Análoga

Las imágenes satelitales, son importantes para registrar cambios en la cobertura vegetal y así poder determinar si las intervenciones han sido exitosas. También permiten comparar programas exitosos, como el de la Reserva, mediante estos mismos registros.

La evolución de la cobertura forestal en la Reserva, documentada a través de análisis históricos y florísticos, evidencia una transformación significativa. La transición de pastizales y matorrales a un bosque secundario, respaldada por la sucesión forestal observada en un lapso de 15 años, subraya la capacidad de regeneración del ecosistema. La gestión activa y el control de pastos han demostrado ser esenciales en este proceso, denotando la importancia de una conservación adecuada.

La propuesta de diseño forestal análogo basada en la comunidad vegetal clímax de las parcelas se presenta como una estrategia eficaz para la regeneración y los diferentes estados de sucesión. Las especies seleccionadas no solo destacan en términos de importancia, sino que también se consideran adecuadas para fortalecer la resiliencia del ecosistema. Este enfoque ofrece flexibilidad y adaptabilidad, representando una herramienta valiosa para la restauración de áreas degradadas y brindando beneficios socioambientales y ecológicos.

VII. Recomendaciones

En relación con los objetivos y conclusiones, las siguientes son recomendaciones para amplificar el tema de la investigación:

- a) Es necesario continuar el monitoreo periódico de los bosques en proceso de restauración, para determinar si requieren de algún tipo de intervención y valorar los avances. Los primeros ocho años son clave para el éxito de los árboles, por lo que el monitoreo es más constante; después se pueden hacer valoraciones una vez al año.
- b) En futuros muestreos de estructura y composición del bosque en la Reserva u otra zona de estudio, se pueden realizar los mismos en la época seca, a fin de comparar datos en distintos meses del año.
- c) Impulsar la forestería análoga en cantones como San Ramón, Naranjo y Atenas, ya que se pueden considerar similares tanto en las características de los terrenos como en el uso de tierra que se les ha dado. Por lo tanto, especies como *Zygia longifolia*, *Conostegia xalapensis*, *Heliocarpus appendiculatus*, *Psidium guajava*, *Spondias purpurea*, *Cecropia obtusifolia* y *Senna papillosa*, pueden ser utilizadas en programas de reforestación en los cantones mencionados, basados en el bosque clímax de la Reserva.
- d) Promover la participación comunitaria en este tipo de proyectos, ya que facilita la consolidación de proyectos forestales y fomentar conciencia para la protección del ambiente.
- e) Si bien es cierto este estudio se realizó en un bosque premontano muy húmedo, la base del proyecto se puede replicar en cualquier zona de vida del país, o inclusive en paisajes urbanos, siempre y cuando se consideren los datos iniciales del bosque análogo para dicha zona de vida. La escala y la cantidad de árboles a utilizar en la propuesta dependerá del objetivo.

VIII. Referencias

- Barrientos, Z., & Monge-Nájera, J. (2010). Restauración Ecológica en la Meseta Central de Costa Rica. *Biocenosis*, 23(2), 20-25.
<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1240/1307>
- Carmona, G., & Carmona, A. (2022). *Plan Estratégico: 2022-2025*. Fundación Madre Verde.
<http://fundacionmadreverde.org/wp-content/uploads/2022/08/PLAN-ESTRATEGICO-2022-2025-FINAL-15062022.pdf>
- Carrasco, C. (2020). *La forestería análoga como herramienta para la restauración ecológica en un bosque plantado de eucalyptus globulus en la Hacienda el Paraíso, provincia de Imbabura* [Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal Amazónica].
<https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/807/1/T.AMB.B.UEA.%20%203246.pdf>
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(1), 133-143.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v17n1/v17n1a13.pdf>
- Cascante, A. (2001). Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49(1), 213-225.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442001000100020
- Cornelio, D. L. (2020). Reforestation planning based on plant hardiness zones in Vitilevu island, Fiji. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 539-543.
<https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLIII-B4-2020/539/2020/isprs-archives-XLIII-B4-2020-539-2020.pdf>

- Cortes Valencia, C. J. (2021). *Estudio del crecimiento de Artocarpus altilis y Zygia longifolia en condiciones de vivero con fines de restauración* [Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
<https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/2355/1/CORTES%20VALENCIA%20CELSO%20JAIR.pdf>
- Hernández, R. V., & Marroquín, K. E. (2008). La forestería análoga como alternativa para el desarrollo rural y la conservación ambiental: el caso de Finca Buenaventura, Pacayitas, Turrialba, Costa Rica.
<http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal14/Geografiasocioeconomica/Geografiarural/38.pdf>
- Granda, V., Finnegan, B., Ramos, Z., Detlefsen, G., & Molina, A. (2015). *Potencial de manejo de bosques restaurados por sucesión natural secundaria en Guanacaste, Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7247/Potencial_de_manejo_de_bosques_restaurados.pdf
- Guadamuz, N., & Bloomfields, M. S. (2019). Composición florística y estructura del manglar de los Cayo Miskitos a 10 años después del huracán Félix. *Revista Universitaria del Caribe*, 22(1), 88-93.
<https://revistas.uraccan.edu.ni/index.php/Caribe/article/view/639/2716>
- Monge, R. Q. (2007). Los Bosques de Costa Rica. *IX Congreso Nacional de Ciencias: Exploraciones Fuera y Dentro del Aula*, 1-16.
<http://www.bio-nica.info/biblioteca/Quesada2007Forestal.pdf>
- Navarro Flores, P. J. (2022). Diseño de sistema agroforestal basado en integración ecosistémica y experiencias de forestería análoga en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica.
https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/25772/TFG_Pablo%20Navarro%20Versi%c3%b3n%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Obando-Vargas, G., & Obando-Coronado, M. (2020). *Tras el fin de la deforestación: estrategias y acciones para el uso sostenible de la tierra*. Climate Chance.
https://www.climate-chance.org/wp-content/uploads/2020/09/costarica_usodelsuelo_climatechance_espa.pdf
- Ocho, M. (2017). *Comparación de las Etapas de Sucesión Ecológica, entre un sitio Reforestado y Dos Bosques Naturales del Altiplano de Guatemala* [Tesis de licenciado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
<https://www.cytunoc.gt/wp-content/uploads/2017/10/Ochoa-Ochoa-Mishel-Norali-2017.pdf>
- Ramos, M. M., & Orth, X. G. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, (80), 69-84.
<https://www.redalyc.org/pdf/577/57708008.pdf>
- Rodríguez, C., & Brenes, L. (2009). Estructura y composición de dos remanentes de bosque premontano muy húmedo en la Reserva Madre Verde, Palmares, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 9(12), 115-124.
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/2841/2763>
- Rodríguez-Arias, C. (2023). Cambios en la estructura vertical y composición florística en la Reserva Natural Madre Verde—Costa Rica—tras 15 años de restauración ecológica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(2), 1-26.
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/18333/28088>
- Rodríguez, C., & Brenes, L. (2010). Fauna de vertebrados de la Reserva Madre Verde, Palmares, Costa Rica. *Brenesia*, 2010(73-74), 108-120.
<http://fundacionmadreverde.org/wp-content/uploads/2020/11/Vertebrados-de-la-Reserva-Madre-Verde-comprimido.pdf>
- Rojas, M. (2013). *Propuesta de restauración ecológica con especies nativas en sustitución de las especies exóticas cupressus lusitanica mill y pinus sp en el cantón Palmares, Alajuela*. Fundación Madre Verde.
<http://fundacionmadreverde.org/wp-content/uploads/2020/11/Propuesta-de-Restaura>

[ci%C3%B3n-Ecol%C3%B3gica-con-especies-nativas-en-sustituci%C3%B3n-de-la-s-especies-ex%C3%B3ticas-Cupressus-lusitanica-Mill-y-Pinus-sp-en-el-cant%C3%B3n-Palmares2013-Noelia-comprimido.pdf](#)

Sancho, L., & Brenes, L. (2023). Percepción rural de la conservación del bosque húmedo premontano (bh-P). *InterSedes*, 24(50), 145-173.

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/51431/56373>

Senanayake, R., & Jack, J. (1998). *Analogue forestry*. Dept. of Geography and Environmental Science, Monash University. <https://edepot.wur.nl/429601>

Senanayake, R. (2012). Analog forestry as an art form. *Journal of the Royal Asiatic Society of Sri Lanka*, 57(2), 229-246.

<https://www.analogforestry.org/wpsite/wp-content/uploads/2015/11/AF-art-form.pdf>

Sonti, S. H. (2015). Application of geographic information system (GIS) in forest management. *Journal of Geography & Natural Disasters*, 5(3), 1000145.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55424932/application-of-geographic-information-system-gis-in-forest-management-2167-0587-1000145_2-libre.pdf?1514909732=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGeography_and_Natural_Disasters_Applicat.pdf&Expires=1701650289&Signature=d3WK1obweA7lGaYLcTwpP-tlqiQxxZHvN6LaCkqsTNbcZDxB1xR~3SqZseuojoyZiWf8hmiUFW0ogeBiUad~wkhefoVCTKQg8jYtLKElR-kFcRGonmCMQ8AnvmcYn8x51vAJuKnYNJYOdRF90cnMRLZGkQNSZk4ztgQ1ZHrLdcSdadUVpPctsBKE8iNVD0PMz2VejjWjH-cA57qWKheIO~E9ZnWhscm0gxYY-y2i1rf9g18Tv8cvu2Z-Z9mPcoOI~E1SrYz0JqJFCabx~g1FEecBCFjGVW-VtBbi6kcckbYBCbLlJEVwX-67tyytYAyze5-MKi6IeqPBVGOUzts3K5g__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Young, K. J. (2017). Mimicking nature: a review of successional agroforestry systems as an analogue to natural regeneration of secondary forest stands. *Integrating landscapes: Agroforestry for biodiversity conservation and food sovereignty*, 12, 179-209. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_8

IX. Anexos

ANEXO A Imágenes de especies vegetales de la Reserva Madre Verde

Figura A1

Hoja de Tabebuia ochracea (“corteza amarilla”)



Figura A2

Frutos de Siparuna thecaphora (“cofalillo”)



Figura A3

Zygia longifolia (“sotacaballo”)



Figura A4

Ejemplo de medición de 10.7 cm CAP o 3.4 DAP



Figura A5

Ejemplar con CAP 41.2 cm o 13.11 DAP



Figura A6

Hoja de Senna papillosa (“abejón”)



Figura A7

Tronco Xylosma intermedia (“peipute”)



Figura A8

Hojas Conostegia xalapensis (“uña de gato”)



Figura A9

Entrada a uno de los senderos



Figura A10

Tronco Psidium guajava (“guayaba”)



Figura A11

Población de pastos en la Parcela #2



Figura A12

Zygia longifolia, individuos ubicados en la parcela #3

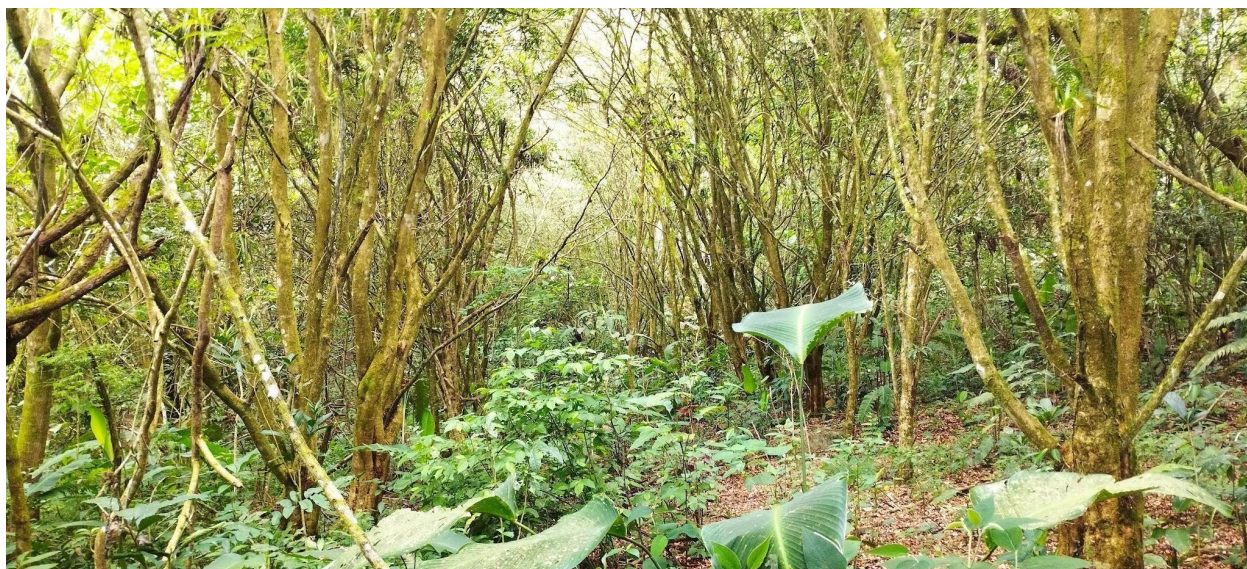


Figura A13

Bosque secundario en áreas donde había pastos y plantas de café



Figura A14

Tronco ramificado de Zygia longifolia

