

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**PLAN DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA FINCA LA
LUCHA, SAN CRISTÓBAL DE DESAMPARADOS, SAN JOSÉ
COSTA RICA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

GABRIELA PORRAS MORA

CARTAGO, COSTA RICA, 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**PLAN DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA FINCA LA
LUCHA, SAN CRISTÓBAL DE DESAMPARADOS, SAN JOSÉ
COSTA RICA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

GABRIELA PORRAS MORA

CARTAGO, COSTA RICA, 2018



**Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial –
CompartirIgual 4.0 Internacional.**

PLAN DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA FINCA LA LUCHA, SAN CRISTÓBAL DE DESAMPARADOS, SAN JOSÉ COSTA RICA

Gabriela Porras Mora*

RESUMEN

En el presente trabajo se enfatiza en la importancia de la restauración ecológica, la cual se convierte en herramienta fundamental para alcanzar un equilibrio entre los recursos naturales y el humano, cuyo propósito es la recuperación de un ecosistema, tanto en su composición, estructura y funcionalidad. El objetivo principal consiste en elaborar un plan de restauración ecológica y para esto se dispone de cuatro sectores en La Finca La Lucha en San Cristóbal de Desamparados, los cuales fueron afectados por la tormenta Nate. El plan de restauración se realizó mediante el estudio de dos ecosistemas; el ecosistema a restaurar y el ecosistema de referencia, donde para el primero se realizó un estudio de su topografía y suelos, mientras que en el ecosistema de referencia se estudió su flora. La metodología aplicada corresponde a la propuesta por el Grupo de Restauración Ecológica (GREUNAL). Se elaboraron tres diseños de plantación con su respectivo presupuesto.

Palabras claves: Restauración ecológica, ecosistema, análisis estructural, diversidad, análisis químico.

ABSTRACT

The present work emphasizes on the importance of ecological restoration, which becomes the fundamental tool to achieve a balance between natural and human resources, the purpose of the recovery of an ecosystem, both in its composition, structure and functionality. The main objective is to elaborate an ecological restoration plan and for this there are four sectors in La Finca La Lucha in San Cristóbal de Desamparados, which have been affected by the Nate storm. The

restoration plan was made through the study of two ecosystems; the ecosystem to restore and the reference ecosystem, in which for the first one a topography and soil study has been done and for the reference one its flora has been studied. The methodology applied corresponds to the proposal of the Ecological Restoration Group (GREUNAL). Three plantation designs were elaborated with their respective budget.

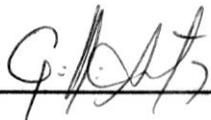
Keywords: Ecological restoration, ecosystem, structural analysis, diversity, chemical analysis.

*Porrás, G. (2018). *Plan de restauración ecológica en la Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José Costa Rica* (Tesis de licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

ACREDITACIÓN

Esta tesis fue aceptada y aprobada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

Miembros del Tribunal Evaluador



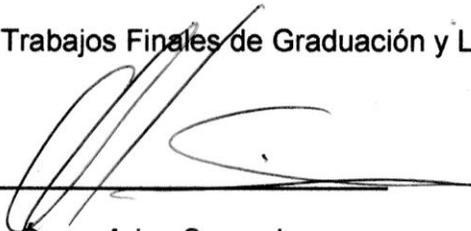
Luis Acosta Vargas

Director de la Tesis



Dorian Carvajal Vanegas

Coordinador de Trabajos Finales de Graduación y Lector



Oscar Arias Saavedra

Administrador de La Finca La Lucha



Gabriela Porras Mora

Estudiante

DEDICATORIA

A todas las personas que siempre creyeron en mí y estuvieron a mi lado.

¡Esto es para ustedes!

AGRADECIMIENTOS

A Dios por tantas bendiciones y alegrías, por brindarme la fortaleza y valentía para enfrentar cada situación que se me presentó en la vida y por rodearme de tantas personas bellas.

A mi compañero de vida, Fabián Aguilar, por su apoyo incondicional durante esta etapa, por su dedicación y comprensión. ¡Gracias por todo!

A mis papás, Sandra y German, por todo su amor, por sus esfuerzos y sacrificios realizados para darme lo mejor.

A mis hermanos Daniela y Heriberto, por alegrarme la vida.

A mi abuela Victoria, por todas las veces que me ha puesto en sus oraciones y en general por apoyarme.

A mi grupo incondicional de amigos, Mariale, Dani y Esteban, por cada una de las experiencias vividas, gracias a ustedes por hacer maravillosa la etapa de la universidad ¡Gracias por todo el apoyo brindado futuros colegas!

A Geovanny, Leonardo, Joshua y en general a todos mis compañeros de generación, por ser parte del proceso de aprendizaje.

A todos los profesores de la Escuela Forestal, por todas las herramientas y enseñanzas.

A mi profesor tutor Luis Acosta, por su apoyo, comprensión, paciencia y sobre todo la enseñanza brindada.

A Don Óscar Arias, administrador de La Finca La Lucha, por brindarme la oportunidad de realizar mi Trabajo Final de Graduación y en general al personal de La Finca, por su amabilidad y hospitalidad.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	i
ACREDITACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 Restauración ecológica.....	4
3.2 Importancia de la restauración ecológica	4
3.3 Definiciones asociadas	6
3.4 Análisis Estructural.....	8
3.4.1 Estructura Vertical.....	8
3.4.2 Estructura Horizontal.....	9
3.5 Experiencias de restauración ecológica a nivel mundial y en Costa Rica.....	11
3.6 Restauración ecológica y su importancia ante el cambio climático.	13
3.7 Guía metodológica de proyectos de restauración.....	15
4. METODOLOGÍA.....	16

4.1	Área de estudio	16
4.2	Guía metodológica	19
4.2.1	Fase Diagnóstica	21
4.2.2	Fase experimental	27
4.2.3	Fase de Monitoreo	35
4.2.4	Fase de consolidación	35
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
6.	PLAN DE RESTAURACIÓN	75
7.	CONCLUSIONES.....	89
8.	RECOMENDACIONES	90
9.	REFERENCIAS	91
10.	ANEXOS	103

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución del muestreo de suelos en diferentes lotes de La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, 2018.	24
Cuadro 2. Interpretación de análisis de suelos (Molina, 2002).	25
Cuadro 3. Conceptualización de las diferentes escalas y niveles de organización de la restauración ecológica (Vargas, 2011).	26
Cuadro 4. Clases de frecuencia, según Lamprecht (1990).	30
Cuadro 5. Atributos adaptados para la selección de plantas leñosas (Rodríguez y Vargas, 2007).	34
Cuadro 6. Resultados del análisis químico de suelos aplicado a los diferentes lotes afectados por la tormenta Nate, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	48
Cuadro 7. Lista de especies arbóreas identificadas en el ecosistema de referencia Finca La Sinfónica, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	56
Cuadro 8. Rúbrica para la evaluación de la variable estrato en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	59
Cuadro 9. Distribución de especies e individuos por pisos altitudinales en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	60
Cuadro 10. Distribución del número de individuos por especie en los diferentes pisos altitudinales en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	61
Cuadro 11. Abundancia y frecuencia para las nueve especies con los valores más altos en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	67
Cuadro 12. Número de especies acumuladas cada 10 m para la elaboración de la curva especie/área, para el bosque de La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	71

Cuadro 13. Fuentes comunes de enmiendas.	81
Cuadro 14. Número de individuos requeridos por círculo y por hectárea con el método radial y plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.....	83
Cuadro 15. Número de individuos requeridos por círculo y por hectárea con el método radial, tresbolillo y plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.....	83
Cuadro 16. Número de individuos requeridos por hectárea con el método de tresbolillo y plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.....	84
Cuadro 17. Cronograma de actividades para la restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.	87
Cuadro 18. Presupuesto para la restauración ecológica de acuerdo al diseño de plantación a implementar en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	16
Figura 2. Visualización satelital de la ubicación de La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	17
Figura 3. Secuencia de los pasos fundamentales a seguir para realizar una restauración ecológica. Fuente: Grupo de Restauración Ecológica [GREUNAL] (2007).	20
Figura 4. Visualización de los lotes afectados producto del paso de la tormenta Nate, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	22
Figura 5. Ubicación geográfica de la Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San José Costa Rica, 2018.	28
Figura 6. Climograma promedio mensual para el año 2016 en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José Costa Rica.	41
Figura 7. Climograma promedio mensual para el año 2017, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José Costa Rica.	42
Figura 8. Humedad relativa reportada para los años 2016 y 2017, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José Costa Rica.	43
Figura 9. Visualización de las curvas de nivel en los diferentes lotes afectados por el paso de la tormenta Nate, Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	45
Figura 10. Formas de aplicación de fertilizantes.	54
Figura 11. Proporción y abundancia de las especies encontradas en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	60
Figura 12. Proporción de gremios ecológicos de acuerdo con el número de especies encontradas en el ecosistema de referencia, Finca La Sinfónica, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	64

Figura 13. Distribución de gremios ecológicos en los diferentes estratos altitudinales encontradas en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	66
Figura 14. Clases de frecuencia para el ecosistema de referencia, Finca La Sinfónica, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	70
Figura 15. Curva especie/área para el bosque de la Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	73
Figura 16. Croquis propuesto para el método radial y de plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.	78
Figura 17. Croquis propuesto para el método radial, tresbolillo y de plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.	79
Figura 18. Croquis propuesto para el método de tresbolillo y plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados del análisis de suelos en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	103
Anexo 2. Especies encontradas en las 5 parcelas de muestreos establecidas en el ecosistema de referencia, Finca La Sinfónica, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	105
Anexo 3. Especies encontradas en las zonas aledañas al río que atraviesa La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	111
Anexo 4. Presupuesto para la restauración ecológica implementando el método radial y siembra libre, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	112
Anexo 5. Presupuesto para la restauración ecológica implementando el método radial, plantación libre y tresbolillo, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	113
Anexo 6. Presupuesto para la restauración ecológica implementando el método de tresbolillo y plantación libre, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.	114

1. INTRODUCCIÓN

La afectación constante y acelerada de los ecosistemas por causas de origen antrópico tales como prácticas agrícolas, ganaderas, industriales y de explotación no sostenible, así como causas de origen natural como inundaciones, incendios, deslizamientos y tormentas, ha traído consigo una gran preocupación sobre la conservación de la biodiversidad a través del tiempo, por lo que consecuentemente se realizan esfuerzos para tratar de revertir esta situación (Vargas, 2011). De acuerdo con Vargas (2011), el manejo de los ecosistemas mediante la conservación y la restauración ecológica toma fuerza cada vez más como una solución para restablecer los procesos de degradación de ecosistemas y pérdida acelerada de biodiversidad. Ya no basta sólo con conservar y proteger áreas representativas, sino que se debe aprender a restaurar paisajes, ecosistemas, comunidades y poblaciones de plantas y animales, para de esta forma garantizar la sustentabilidad de sistemas naturales y la disponibilidad de servicios ambientales regionales, los cuales mantienen las economías funcionando (Vargas, 2011). Dos Santos (2011), hace referencia a que la restauración ecológica es presentada como una estrategia que aumenta el capital natural, ya que invertir en la restauración del capital natural no desvirtúa a la conservación de la naturaleza, sino que añade un significado adicional, la pertinencia y la eficacia de los esfuerzos de conservación; además sugiere que la restauración ecológica, incrementa las oportunidades y beneficios económicos, al tiempo que mejora los aspectos sociales, culturales, psicológicos y espirituales del bienestar humano.

En la Finca La Lucha, la economía producto de la atracción turística debido a sus paisajes boscosos ha aumentado significativamente; sin embargo, su cobertura vegetal presenta una afectación natural de suma importancia. De acuerdo con la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE, 2017), la tormenta Nate, ocurrida el 5 y 6 de octubre del 2017 tuvo una influencia indirecta sobre el país propiciando un severo temporal en el Pacífico, el Valle Central,

la Zona Norte y en menor medida en el Caribe, la CNE reporta que, según el 911, se atendió 48 accidentes por fuertes vientos y 496 por deslizamientos. En el Valle Central específicamente, donde se ubica La Finca La Lucha, se reportaron vientos sostenidos de 80 km/h en las zonas altas y la precipitación alcanzó 150 - 250 mm (CNE, 2017).

Dada la afectación sobre la cobertura vegetal en La Finca La Lucha, producto del paso de la Tormenta Nate, se produjo gran cantidad de caída de árboles y fuertes deslizamientos, tanto en las zonas aledañas a los ríos y acequias como en áreas con infraestructura. Una de las diversas consecuencias generadas fue la obstrucción de las principales vías de acceso, poniendo en riesgo las diferentes poblaciones en La Finca La Lucha, siendo éste último aspecto de mayor preocupación ya que dentro de la finca se encuentran diferentes industrias, instituciones de enseñanza primaria y secundaria, así como toda la población turística que visita la finca, por lo que las zonas afectadas por la tormenta deben ser restauradas. Ante esta situación surge la incógnita de ¿Cómo recuperar el ecosistema boscoso afectado de tal manera que integre los componentes de paisaje y biodiversidad natural de la zona?

El presente trabajo, se presenta como una solución a este problema, el cual tiene como objetivo general, elaborar un plan de restauración ecológica para las zonas afectadas por la tormenta Nate en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Elaborar un plan de restauración ecológica para las zonas afectadas por la tormenta Nate en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica.

2.2 Objetivos específicos

Definir la línea base del ecosistema a restaurar a partir del estudio del ecosistema de referencia.

Desarrollar propuestas de estrategias de restauración y monitoreo enfocadas a la conservación de la diversidad biológica y mantenimiento de servicios ecosistémicos.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Restauración ecológica

La restauración ecológica, se define como una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad, o bien, como el proceso de ayudar el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2004). Se trata de generar sistemas que funcionen de acuerdo con los principios ecológicos, capaces de auto mantenerse e integrarse en su contexto e incluso de madurar por sí solos (Zamora, 2002). Cuando los ecosistemas se encuentran muy degradados y han perdido sus mecanismos de regeneración, es necesario asistir su recuperación, siendo este proceso denominado como restauración activa o asistida, el cual implica que, con influencia humana, se ayude al ecosistema para garantizar el desarrollo de los procesos de recuperación y superar las barreras que impiden la regeneración. Contrario al proceso anterior, cuando los ecosistemas se recuperan por sí solos y no existen tensionantes o barreras que impidan su regeneración, se conoce como restauración pasiva o sucesión natural (Grupo de Restauración Ecológica [GREUNAL], 2012).

3.2 Importancia de la restauración ecológica

La importancia que tiene la restauración ecológica se deriva de los impactos o distintas formas de degradación de los recursos naturales y las condiciones ambientales que repercuten en la pérdida de vegetación y suelos, aguas contaminadas, destrucción de partes vitales del hábitat, erosión genética, mortalidad, baja reproducción de las especies, cambios climáticos y en general, el deterioro progresivo de distintos tipos de sistemas: naturales, modificados, cultivados y construidos (Gálvez, 2002). De manera que al implementar métodos de restauración ecológica, se obtienen beneficios tales como la garantía de que los procesos implementados se puedan monitorear a largo plazo, la consolidación del

conocimiento de las especies adecuadas para restaurar el sitio, la recuperación adecuada de la fauna nativa, recuperación de su estructura trófica, así como la centralización de esfuerzos de instituciones tanto de orden nacional, como regional y local, y además, de la generación de conocimiento aplicable e investigación a otras áreas del mismo ecosistema y a otros tipos de ecosistemas (Vargas, 2011). Sin embargo, el tema de restauración ecológica no solo está relacionado con recursos naturales.

De acuerdo con Zorilla (2005), el deterioro de los recursos naturales a nivel mundial ha llevado a cuestionamientos importantes sobre la manera en la que se están usando los recursos así como sobre las perspectivas de desarrollo futuro al ritmo de explotación actual, mientras más rápido avanza el deterioro ambiental y las alteraciones en los ecosistemas, más disminuye la capacidad de la sociedad de encontrar medios alternativos para que sus actividades y su economía no se vean afectadas drásticamente, siendo las comunidades cuya subsistencia está basada en actividades primarias tales como agricultura y recolección, las más vulnerables, ya que su capacidad de encontrar medios alternativos de subsistencia es menor, ocasionando problemas como desigualdad y pobreza.

Por lo que la restauración ecológica se convierte en una herramienta vital para establecer un equilibrio entre el desarrollo humano y los recursos naturales, teniendo como principal objetivo, el iniciar o acelerar procesos que conduzcan a la recuperación de un ecosistema, cuya visión ecosistémica implica que lo que debe retornar a un estado pre-disturbio, son las condiciones ecológicas que garantizan la recuperación de la composición, estructura y función del ecosistema, las cuales recuperan servicios ambientales (Vargas, 2007). Valladares, Balaguer, Mola, Escudero y Alfaya (2011), definen la restauración ecológica como una colaboración al desarrollo de mosaicos de ecosistemas cuyo propósito es mejorar su calidad integral y de paisaje, constituyendo una herramienta primordial dentro de los planes de conservación y gestión de especies y espacios, lo que supone un reto tanto científico como técnico. No obstante, para lograr que un ecosistema se restaure, es

necesario conocer los factores o limitaciones que intervienen en este proceso. De acuerdo con Vargas et al. (2007), estas barreras o limitantes se clasifican en dos tipos; las ecológicas, que influyen en las diferentes etapas o fases de los procesos ecológicos; en la fase de dispersión, por ejemplo: ausencia de polinizadores, ausencia de propágulos, ausencia de animales dispersores, corta longevidad de semillas y predación de semillas, en la fase de establecimiento, como temperaturas extremas, pérdida de la estructura del suelo, humedad, hervivoría y competencia, y por último, la fase de persistencia de las especies, en la cual se encuentran limitantes como los disturbios naturales y antropogénicos, mientras que el segundo tipo de barreras son las socioeconómicas, que son todos los factores políticos, económicos y sociales que pueden llegar a limitar los procesos de recuperación de los ecosistemas. Adicionalmente, Sánchez et. Al (2005), considera que existe una larga lista de aspectos prácticos que influyen para que los esfuerzos de restauración sean exitosos, tales como la conceptualización de la restauración, los enfoques brindados, la confusión de términos en la legislación nacional y la falta de una serie de criterios que permitan evaluar el éxito de la restauración.

3.3 Definiciones asociadas

En el contexto de la restauración ecológica, existen diversos conceptos asociados, los cuales resultan importantes de estudiar y/o entender para una mayor familiarización en este ámbito.

El concepto de resiliencia ecológica está ligado a la determinación de la persistencia de las relaciones dentro de un sistema, el cual es una medida de la capacidad de estos sistemas para absorber cambios o disturbios, es la habilidad de recuperación del sistema. La estabilidad, es la capacidad de un sistema para volver a un estado de equilibrio después de una perturbación temporal, cuanto más rápido regresa, y con la menor fluctuación, más estable es (Holling, 1973). Por otra parte, Hernández, Urcelai y Pastor (2002), definen la resiliencia de un ecosistema como la medida de la estabilidad del mismo; además, recalca que dicho concepto es puesto de manifiesto

por numerosos autores; sin embargo, resultan escasos aquellos que muestran resultados basados en hechos experimentales y que, además, expongan los mecanismos implicados en la misma.

El término de integridad ecológica, Parrish, Braun y Unnasch (2003), lo asocian cuando las características dominantes de un sistema ecológico, (por ejemplo, elementos de composición, estructura, función y procesos ecológicos), ocurren dentro de sus rangos naturales de variación, los cuales pueden resistir y recuperarse de la mayoría de las perturbaciones impuestas por la dinámica ambiental natural o interrupciones humanas. Desde otra perspectiva, Karr y Dudley (1981), definen la integridad ecológica como la capacidad de un sistema ecológico para mantener una comunidad de organismos con su respectiva composición de especies, diversidad y organización funcional, la cual es comparable a las de hábitats naturales dentro de una determinada región.

La fidelidad histórica se entiende como la restauración hacia un estado más natural, lo que significa regresar a una condición, con una composición de especies y estructura igual a la existente previo a la degradación (Bradshaw, 2004). Desde otro punto de vista, Garson (2014), considera la fidelidad histórica como la idea a la cual, la práctica de la restauración debe intentar aproximar, dentro de límites razonables, algún estado pasado del ecosistema dañado.

Otro concepto de relevancia en la restauración ecológica es el manejo adaptativo, donde Pérez (2005), lo considera como un aporte de importancia al manejo de ecosistemas, cuya definición consiste en mejorar las prácticas de manejo conforme se mejora los conocimientos del ecosistema a manejar, para ello se requiere de investigación sobre el ecosistema y el establecimiento de metas y acciones del manejo. Christensen et al. (1996), define como manejo la gestión que es impulsada por objetivos, ejecutada por políticas, protocolos y prácticas, que además, es adaptable mediante el monitoreo y la investigación, basados en la mejor

comprensión que se tiene de las interacciones ecológicas y los procesos necesarios para mantener la estructura y función del ecosistema.

3.4 Análisis Estructural

En otra perspectiva de la restauración ecológica, que es de gran importancia destacar son las definiciones enlazadas con respecto al análisis estructural (horizontal y vertical), que se debe de realizar en el ecosistema de referencia de una restauración ecológica, el cual constituye una base sólida para iniciar con un adecuado proceso de restauración. Un análisis de la estructura del bosque busca establecer cómo están distribuidos los individuos en el espacio disponible, es también una forma práctica de observar cómo y dónde están compitiendo los árboles y si existen estratos menos agresivos que otros (Lamprecht, 1990).

3.4.1 Estructura Vertical

Valerio y Salas (1997), definen la estructura vertical como la distribución de los organismos a lo alto del perfil de los bosques y, Louman, Juvenal y Jiménez (2001), establecen que esta estructura responde a las características de las especies que la componen y a las condiciones micro ambientales presentes en las diversas alturas del perfil, las cuales permiten que especies con diferentes requerimientos de energía se ubiquen en los niveles que mejor satisfagan sus necesidades. Según los lineamientos establecidos por la IUFRO (1968) citado por Valerio y Salas (1997) y que Lamprecht (1990) toma como criterio, el bosque tropical está dividido usualmente en tres estratos, conocido el primero como estrato superior, luego el estrato medio y por último, el estrato inferior, donde los diferentes estratos pueden ser dominados por una o varias especies y esto responde a la variedad de temperamentos que presentan las especies (Zamora, 2010).

3.4.2 Estructura Horizontal

En cuanto a la estructura horizontal, Valerio y Salas (1997) se refieren al arreglo espacial de los árboles, con una distribución aleatoria que sigue modelos complejos que lo hacen ver como tal, el cual permite evaluar el comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie del bosque y puede evaluarse a través de índices que expresan la ocurrencia de las especies, lo mismo que su importancia ecológica dentro del ecosistema, es el caso de la abundancia, frecuencia y dominancia (Alvis, 2009). Hernández (1999), agrega que en el estudio de la estructura horizontal se analizan diferentes aspectos que ayudan a obtener una mejor comprensión del bosque como lo son la riqueza y diversidad florística, distribución diamétrica, área basal, índice de Shannon, coeficiente de mezcla, índice de homogeneidad de Shannon e índice de Simpson. Melo y Vargas (2003), destacan que los histogramas de frecuencia, son también, una representación gráfica de la proporción en que aparecen las especies y expresan la homogeneidad del bosque.

Riqueza y diversidad florística

Se denomina riqueza al número total de especies de cualquier tamaño y forma de vida en un área dada, mientras que la diversidad florística se refiere a la distribución de los individuos entre el total de especies presentes y es un indicador de intensidad de mezcla del rodal. Al igual que la riqueza florística, este valor va a depender del límite mínimo de medición y la referencia del área (Hernández, 1999 citado por Zamora, 2010).

Cabe destacar, que la evaluación de la riqueza florística se efectúa por medio de la curva área/especie, la cual proporciona información sobre el incremento de especies en superficies crecientes, a partir de un diámetro mínimo considerado. Esta curva proporciona en parte la información para detectar hasta qué superficie no es significativo el incremento de nuevas especies (Manzanero, 1999 citado por Zamora, 2010).

En cuanto a la diversidad florística, esta se evalúa a través del coeficiente de mezcla (CM), que es el resultado de la división del total de árboles encontrados entre el número de especies encontradas a partir de un diámetro mínimo considerado y en una superficie dada (Manzanero, 1999 citado por Zamora, 2010). De acuerdo con Melo y Vargas (2003), este coeficiente, es uno de los índices más sencillos de calcular y expresa la relación entre el número de especies y el número de individuos totales, además proporciona una primera aproximación de la heterogeneidad de los bosques.

Sin embargo, Baca (2009) enfatiza que en cuanto a índices de diversidad se trata, existen una gran cantidad de índices que estiman la diversidad de una comunidad, el cual es un parámetro estadístico derivado de la información de la riqueza de especies y la abundancia de los individuos presentes en el ecosistema.

Índices convencionales

De acuerdo con Melo y Vargas (2003), estos comprenden las abundancias, frecuencias y dominancias.

La abundancia se entiende como el número de individuos que posee una especie en un área determinada. Cuando se refiere al número de individuos por especie corresponde a la abundancia absoluta y cuando es el porcentaje de individuos de cada especie con relación al número total de individuos del ecosistema se habla de abundancia relativa (Melo y Vargas, 2003 citado por Zamora, 2010).

La frecuencia corresponde a la posibilidad de encontrar un árbol de una determinada especie, al menos una vez, en una unidad de muestreo. Se expresa como el porcentaje de unidades de muestreo en las que se encuentra el árbol en relación al número total de unidades de muestreo (Melo y Vargas, 2003 citado por Zamora, 2010).

Melo y Vargas (2003) enfatizan que el histograma de frecuencia se genera a partir de la agrupación de las especies en cinco 5 categorías o clases de frecuencia absoluta.

3.5 Experiencias de restauración ecológica a nivel mundial y en Costa Rica.

Las múltiples formas de degradación de los ecosistemas han ocasionado severos daños a nivel mundial. Sin embargo, con la evaluación más reciente de recursos forestales, se indica que en Europa, América del Norte, Asia Oriental y el Centro-Occidente de Asia, la superficie forestal se expandió (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2015). En contraste, Latinoamérica, ha incrementado la deforestación, a pesar de que en las últimas cinco décadas, la población que habita en las zonas rurales se ha reducido a menos de un cuarto, lo que podría generar posibilidades de que el bosque se recupere debido al abandono de la tierra en la región (Graesser, Aide, Grau y Ramankutty, 2015; Grauy Alde, 2008).

Para tratar de revertir la dinámica de degradación, han surgido diferentes iniciativas de restauración a nivel global y regional. Por ejemplo, las Metas Aichi la cual fue aprobada en el 2010 en la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), está conformada por un conjunto de 20 metas agrupadas en cinco objetivos estratégicos, que deberían de alcanzarse al año 2020 (CDB, 2010). Otra iniciativa es El Desafío de Bonn, el cual es un esfuerzo global para traer 150 millones de hectáreas de tierras deforestadas y degradadas a la restauración para 2020 y 350 millones de hectáreas para 2030 (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2017).

En cuanto a Latinoamérica, se encuentra la Iniciativa 20x20, la cual consiste en un esfuerzo que es liderado por países que buscan cambiar la dinámica de la degradación de la tierra, tanto en América Latina como en el Caribe, mediante la restauración de 20 millones de hectáreas en el año 2020, esta iniciativa cuenta con el respaldo de más de 40 organizaciones e instituciones técnicas (World Resources Institute [WRI], 2014) Sin embargo, según Méndez, Martínez, Ceccon, y Guariguata

(2017), son pocos los países que actualmente han concretado un plan de restauración que les permitirá, en los próximos años, lograr las metas propuestas; además, recalca que solo **cuatro países** de Latinoamérica cuentan con un plan nacional de restauración de los 13 países que se comprometieron en el reto de Bonn o la Iniciativa 20x20, los cuales son los siguientes: Brasil, Colombia, Ecuador y Guatemala.

Con respecto a las experiencias de restauración en Costa Rica, se cuenta con un programa de Restauración y Silvicultura en el Área de Conservación de Guanacaste (ACG) creado en el año 1989, dicho programa abarca diferentes proyectos para la restauración activa de los bosques nativos en terrenos degradados y de pastizales dentro de las áreas protegidas del ACG, siendo de esta manera cómo se han desarrollado diferentes experiencias tanto en restauración de bosques secos del Pacífico Norte, así como, bosques húmedos del sector Caribe, donde se han probado diferentes metodologías para cada uno de los sitios (Área de Conservación Guanacaste [ACG], 2014).

En contraste, Barrientos y Monge (2010), recalcan que en el país, se ha desarrollado más la reforestación que la restauración ecológica, hace énfasis en la meseta central, en la cual se arborizaron lugares como La Sabana, el Parque del Este, el Monte de la Cruz, el Bosque de la Hoja, Charrarra y Ojo de Agua, con especies introducidas, principalmente con eucaliptos, cipreses y jacarandas. Sin embargo, recalcan que entre las actividades y procesos del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), se tiene la protección y restauración de la cuenca del Río Virilla, el cual atraviesa la Meseta Central de este a oeste; no obstante, tampoco en FONAFIFO existe un verdadero plan de restauración ecológica y las medidas tomadas se limitan únicamente a sembrar algunas especies arbóreas nativas. Por lo que se concluye, que en las áreas urbanas del país no existen proyectos serios de restauración, ya que la simple sustitución de especies introducidas por nativas, no garantiza la recuperación de la funcionalidad completa del ecosistema (Barrientos y Monge, 2010).

De manera general, Costa Rica se encuentra rezagada en el tema de restauración ecológica, si bien existen esfuerzos, estos son de forma aislada y puntal, es decir no existe un plan nacional de restauración ecológica (Méndez, Martínez, Ceccon, y Guariguata, 2017).

3.6 Restauración ecológica y su importancia ante el cambio climático.

La degradación del ambiente es una tendencia que tiene sus implicaciones en la sociedad, en los individuos y en la educación, en la cual la preocupación por el cambio climático aumenta cada día. El cambio climático se entiende como el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Organización de las Naciones Unidas, 1992). En este sentido, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2012), establece que el cambio climático es la modificación del clima con respecto al historial climático que se mantiene durante un período prolongado debido tanto a causas naturales como antropogénicas.

A pesar de que el clima ha sufrido distintas variaciones a lo largo de la historia, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, s.f.), concluye con un 95% de certeza científica, que el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, como resultado de la actividad humana, ha sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX, donde la ciencia actual proporciona la evidencia más clara hasta la fecha de que la actividad humana está cambiando nuestro clima. De acuerdo con Rodríguez y Mance (2009), la principal actividad humana que ha causado el cambio climático, y que lo seguirá causando durante el presente siglo, es el consumo de combustibles fósiles, en particular petróleo y carbón, que emite dióxido de carbono (CO₂), el mecanismo mediante el cual el CO₂ y otros gases producen el calentamiento global se denomina efecto invernadero. Las consecuencias generadas a raíz del cambio climático se efectúan en la alteración de paisajes y ecosistemas,

cambios en la distribución, composición e interacción entre las especies, conflictos en la interfaz seres humanos y la fauna silvestre-ganado, incendios forestales, especies invasoras y plagas, así como enfermedades y salud de la fauna (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2013).

La Adaptación basada en Ecosistemas (AbE), conocida como *Ecosystem based Adaptation – EbA* por sus siglas en inglés, se define como la utilización de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, como parte de una estrategia más amplia, para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, integrando el manejo sostenible, la conservación y la restauración de ecosistemas para proveer servicios que permiten a las personas una mejor adaptación, cuyo propósito es mantener y aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas (Lhumeau y Cordero, 2012).

Según Fundación Natura Colombia (2016), existen dos medidas mundialmente reconocidas para ejecutar frente al cambio climático: por un lado, las que contribuyen a remover o minimizar las emisiones generadas a la atmósfera, denominadas como mitigación, y por el otro, acciones que contribuyen a mejorar las capacidades humanas, técnicas y tecnológicas para enfrentar, ajustarse y estar preparados ante los cambios generados en el clima, más conocida como adaptación. La restauración ecológica comprendida como el proceso de restablecer los procesos ecológicos de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, a partir de un ecosistema de referencia, es una de las medidas que favorecen tanto a la mitigación como a la adaptación al cambio climático. La mitigación, se enfoca a través de la remoción de carbono que se concentra en la biomasa de las plantas, animales y el suelo. La adaptación favorece en cuanto apoya el mantenimiento de la dinámica hidrológica y otros ciclos claves que minimizan la vulnerabilidad de los sistemas naturales y sociales (Fundación Natura Colombia, 2016).

Al establecer uno o varios ecosistemas de referencia como metas de las iniciativas de restauración; los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación deben referirse a

dicho ecosistema de referencia, por tanto, parte del éxito de la restauración, es el hecho que el ecosistema de referencia pueda adaptarse al cambio climático, en el horizonte de tiempo planificado y todas las fases de recuperación, con el propósito de garantizar su ajuste y sostenibilidad futuras en un clima cambiante (Soto, 2017).

3.7 Guía metodológica de proyectos de restauración

La elaboración del plan de restauración se realizó con base en la Guía Metodológica para la Restauración, cuyos autores son el Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia, la cual tiene definido los pasos a seguir en un proyecto de restauración, de manera que las únicas modificaciones a realizar, es la adaptación de esta guía al sitio planteado.

4. METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio

El proyecto se llevó a cabo en una finca de 386 hectáreas, cuya área efectiva para realizar el plan de restauración es de 15,43 hectáreas, dicha finca es conocida por el nombre de Finca La Lucha Sin Fin, fundada por el expresidente José María Figueres Ferrer. La misma se ubica específicamente en los distritos de San Cristóbal y Santa Cruz, en los cantones, respectivamente, de Desamparados y León Cortés, en la provincia de San José, a una altitud promedio de 1161 m.s.n.m. (Figuras 1 y 2).

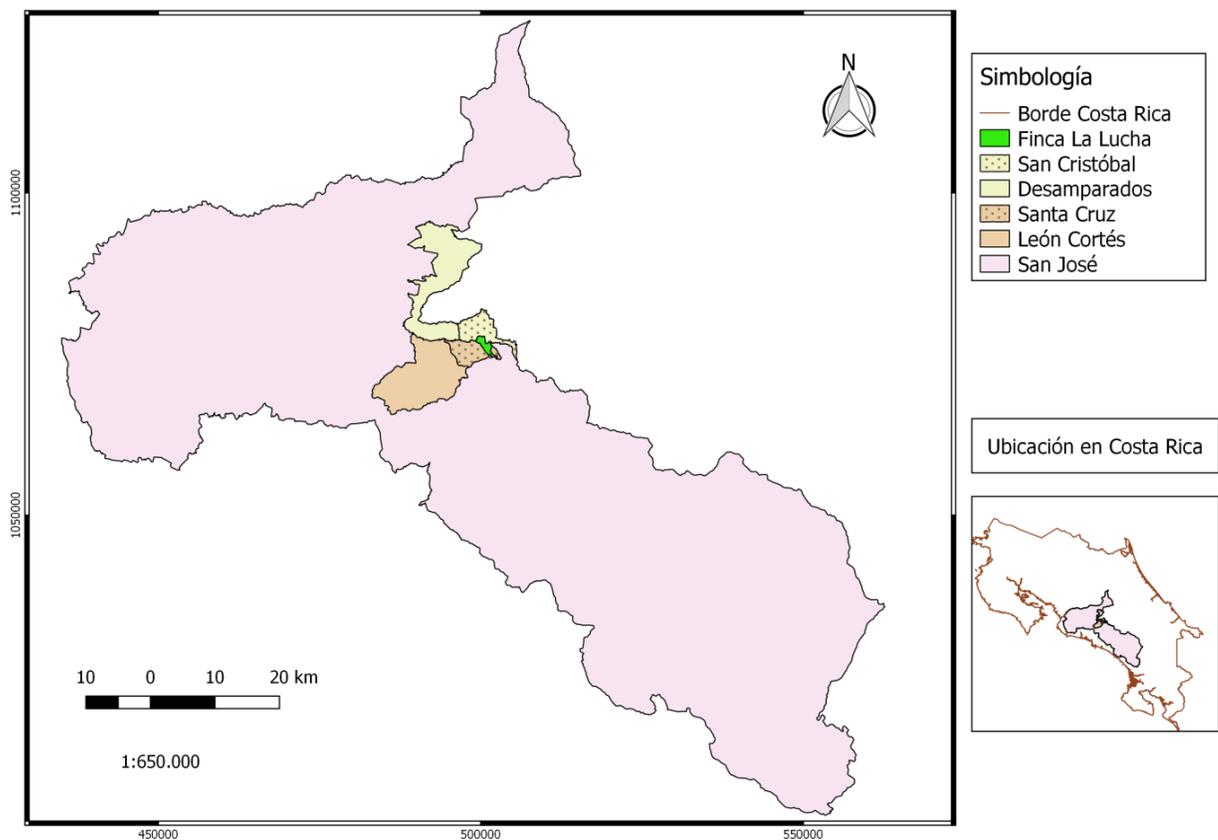


Figura 1. Ubicación geográfica de La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

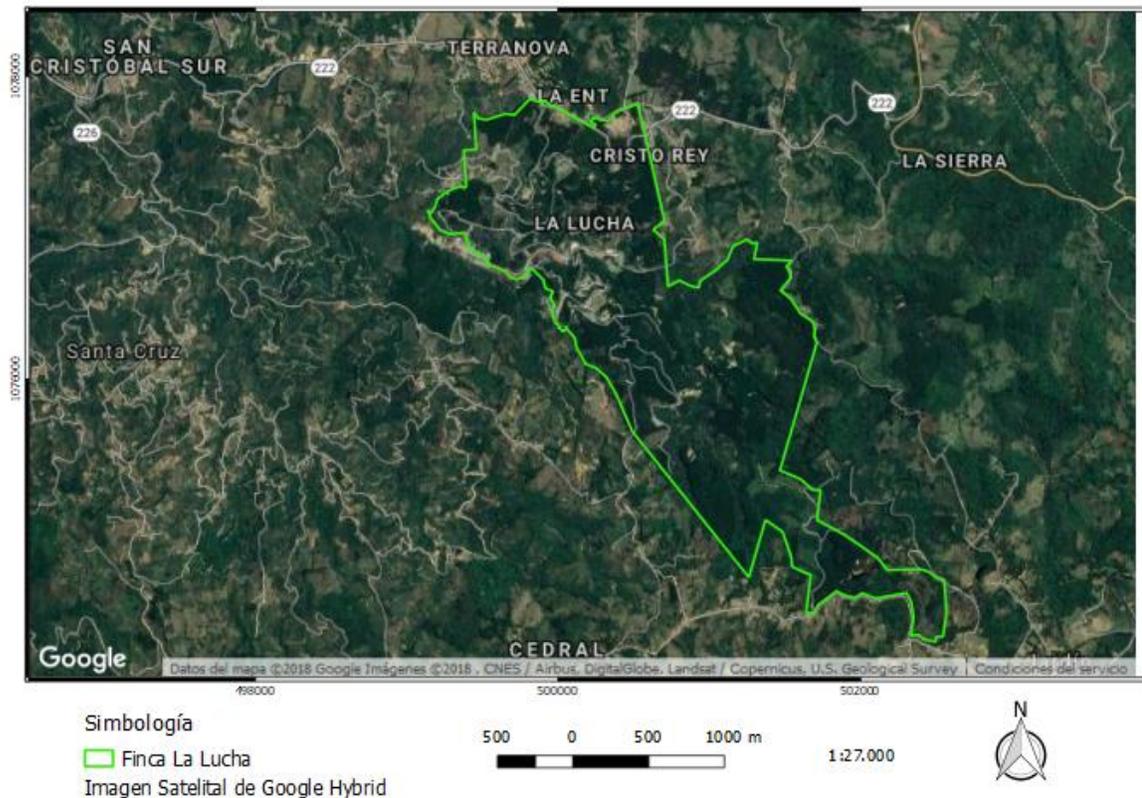


Figura 2. Visualización satelital de la ubicación de La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

La utilidad del terreno de la finca en los últimos años ha sido básicamente para cultivos de café (*Coffea arabica*) y cabuya (*Agave sp*), así como de cobertura forestal con plantaciones de *Cupressus lusitanica* (ciprés). Dentro de sus diferentes usos de la tierra, también se encuentra infraestructura tal como viviendas, industrias pequeñas, instituciones de enseñanza primaria y secundaria e instalaciones de recreación (restaurante, cabañas de hospedaje, recepción y distintas zonas para recreación). Además, por la finca transcurre una servidumbre pública de paso, la cual debe mantenerse libre de edificaciones.

En el poblado de La Lucha se ubica una estación automática del Instituto Meteorológico Nacional, la cual reporta para los últimos dos años (2016 y 2017), una precipitación anual promedio de 142,81 mm y 185,08 mm, respectivamente, siendo

los meses de mayo y octubre con mayor precipitación mensual mientras que los meses de febrero y marzo los más secos. Para el año 2016, la temperatura mínima anual promedio es de 13,11 °C y la máxima de 23,76°C, mientras que para el año 2017 la temperatura mínima anual promedio es de 12,51 °C y la máxima de 22,45°C, donde los meses de marzo y abril son los que presentan las mayores temperaturas, y los meses de enero y febrero con las menores temperaturas. Adicionalmente, para el 2016 se reporta una humedad relativa anual promedio de 89,92%, mientras que para el año 2017 fue de 89,50%, siendo octubre y noviembre los meses con mayor porcentaje y febrero y marzo con menor humedad relativa.

Entre los principales rasgos del suelo en la región, específicamente de los cantones de Desamparados y León Cortés, se clasifican como suelos ultisoles e inceptisoles, en ambos casos el terreno se caracteriza por ser fuertemente ondulado, con un rango de pendientes que varía entre 30% a 60% (Ortiz, 2014).

De acuerdo con el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, el país se encuentra dividido en 38 zonas de vida (Holdridge 1967, citado por Acosta-Vargas, 2012). Dicha división fue basada en factores ambientales, tales como la precipitación, temperatura y humedad, generando así la división del país en diferentes tipos de bosques. Con base en esta clasificación, en el área de estudio podemos encontrar dos zonas de vidas, las cuales corresponden a bosque húmedo montano bajo y bosque muy húmedo montano bajo (Ortiz, 2014). Quesada (2007), define al bosque húmedo montano bajo, en condición natural, como de baja altura, con dos estratos, poco denso, con abundancia de epífitas y siempreverde, señala la presencia de neblina durante largos periodos durante el día y en el transcurso del año. Como característica del bosque muy húmedo montano bajo, los terrenos de esta zona de vida son en su mayoría de topografía accidentada y con laderas expuestas a vientos, donde se pueden encontrar especies como *Alnus acuminata* (jaúl), *Cornus disciflora* (lloró), *Magnolia poasana* y el género *Quercus*, el cual puede abarcar diferentes tipos de especies (Quesada, 2007).

4.2 Guía metodológica

Para realizar una restauración ecológica no existen recetas, debido a los múltiples factores naturales y sociales específicos de cada lugar, generando así que las estrategias de restauración sean diferentes para cada sitio. Sin embargo, sí existen recomendaciones generales fundamentadas en bases teóricas y conceptuales de la restauración ecológica y en las experiencias acumuladas en los intentos de restaurar diferentes ecosistemas en diferentes partes del mundo, por lo que para efectos de la elaboración de la propuesta de este proyecto, se utilizó como base la Guía metodológica elaborada por el Grupo de Restauración Ecológica ([GREUNAL], 2007).

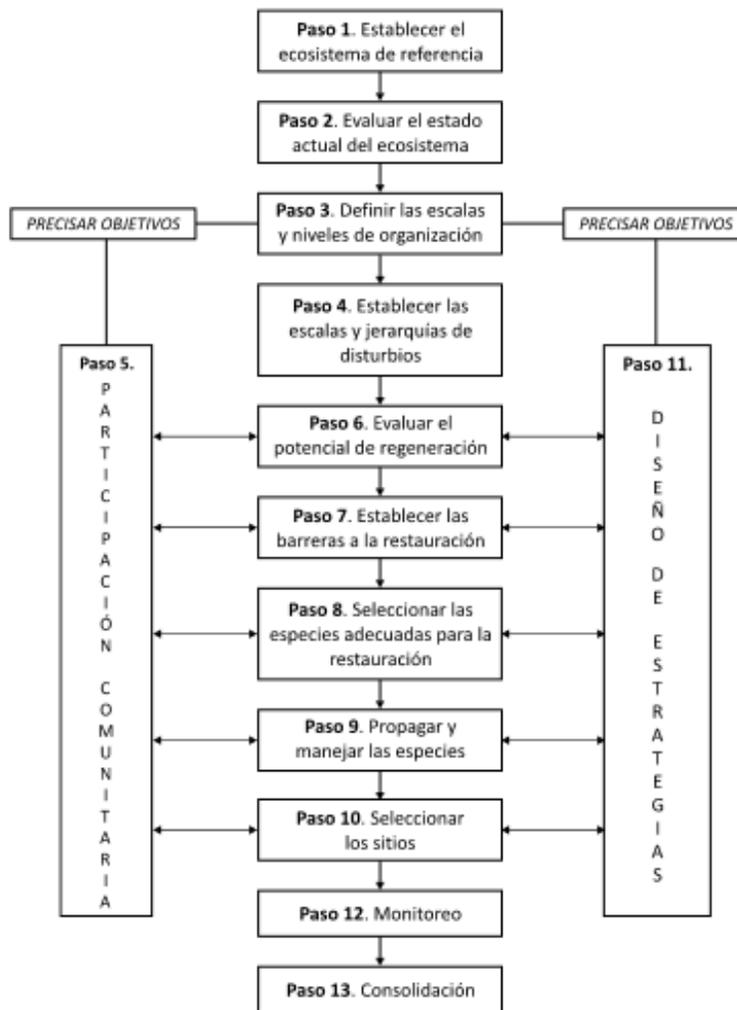


Figura 3. Secuencia de los pasos fundamentales a seguir para realizar una restauración ecológica. Fuente: Grupo de Restauración Ecológica [GREUNAL] (2007).

En esta secuencia se involucra la participación de la comunidad; sin embargo, para fines de este proyecto no se tomará en cuenta debido a que se realizó en una finca privada, por lo que la única participación es la del personal que labora en La Finca La Lucha y personal autorizado por su respectivo administrador.

4.2.1 Fase Diagnóstica

4.2.1.1 Definición del ecosistema de referencia

La delimitación del ecosistema se efectuó de la siguiente manera, según las recomendaciones establecidas por SER (2004) y Vargas (2007):

- a) *Descripciones ecológicas y listas de especies antes de la perturbación:* no se encontraron reportes de la zona afectada.
- b) *Fotografías históricas y recientes, tanto aéreas como terrestres y mapas del sitio del proyecto antes del daño:* mediante la utilización del programa Google Earth así como de imágenes satelitales provenientes de LANDSAT.
- c) *Remanentes del sitio que se ha de restaurar que indiquen las condiciones físicas anteriores y la biota:* se realizó visitas de campo para tener un conocimiento de los relictos de bosque presentes en la finca, así como los aledaños a esta.
- d) *Descripciones ecológicas y listas de especies de ecosistemas similares e intactos:* no se encontraron reportes.
- e) *Versiones históricas e historias orales de personas familiarizadas con el sitio del proyecto antes del daño:* mediante los aportes brindados por el administrador de la finca así como de los trabajadores con mayor tiempo de laborar en ella.

4.2.1.2 Evaluación del estado actual del ecosistema.

- a) *Levantamiento de información:* se realizó un recorrido por las áreas afectadas y se determinó que debido a la alta cantidad de residuos de la vegetación forestal (fustes, raíces y copas), producto de la tormenta, no era viable realizar un levantamiento topográfico, ya que el tiempo para efectuarlo se extendería más de lo planificado para esta actividad, además muchas zonas de estas áreas no se pudieron recorrer por seguridad, debido a su gran inestabilidad y presencia de fustes de gran dimensión; una vez visualizada la situación anterior, se procedió a

segmentar dichas áreas en cuatro lotes, con el fin de realizar una adecuada organización y manejo del trabajo (Figura 4). Para la recopilación de información, en las zonas más estables de dichos lotes, se realizó un levantamiento de puntos utilizando el GPS Garmin 64s, el cual se efectuó de la siguiente manera: en los lotes 1, 2 y 4 la toma de puntos se realizó de manera perpendicular a sus respectivos límites físicos, que para estos casos fue la presencia de caminos secundarios, mientras que para el lote 3, por su alta dificultad de recorrer, la toma de puntos se realizó siguiendo el borde de este.

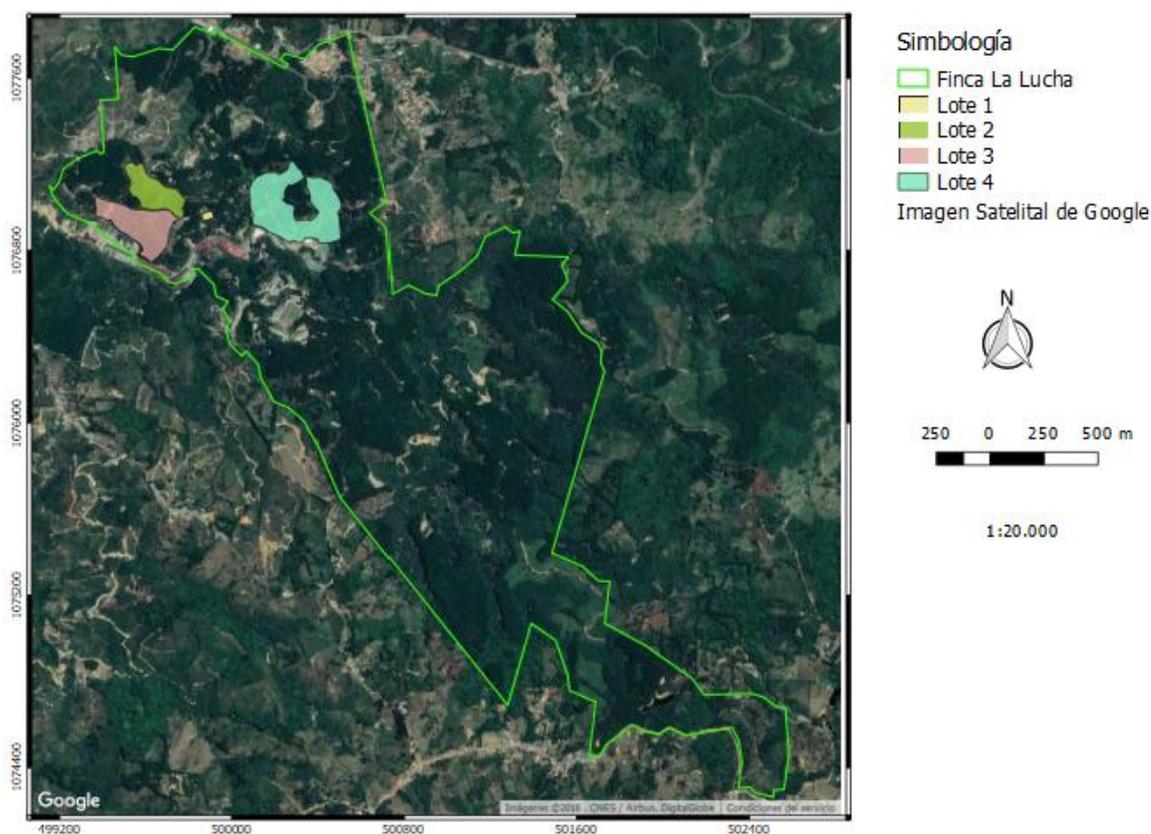


Figura 4. Visualización de los lotes afectados producto del paso de la tormenta Nate, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Sin embargo, el levantamiento realizado mostró resultados con alto porcentaje de error, posiblemente por la baja señal captada por la herramienta utilizada (GPS). Debido a lo anterior, se decidió descargar el Modelo de Elevación Digital del satélite

ALOS PALSAR para la generación de curvas de nivel, cuya resolución es de 12,5 m, la cual es más precisa que el levantamiento de campo realizado. A dichas curvas de nivel, se le estableció una distancia de 5 metros entre ellas, con el fin de una mejor visualización del comportamiento del terreno.

- b) *Curvas de nivel:* se utilizó la herramienta curvas de nivel del programa QGIS versión 3.0.
- c) *Relictos o parches del ecosistema original:* debido a los severos deslizamientos producto de la tormenta Nate, no quedó vegetación en las zonas de estudio, por lo que este apartado no se realizó.
- d) *Tipo de suelo:* Se realizó pruebas de suelo representativas del lugar, tomando como referencia las especificaciones técnicas propuestas por Schweizer (2011); donde se realizó una estratificación por pendiente y por cada muestra, se recolectó diez submuestras de manera homogénea y siguiendo un patrón de zig-zag, las cuales abarcaron en su mayoría el terreno. Cada submuestra estuvo compuesta por dos recolecciones, la primera a 20 cm y la otra a 40 cm de profundidad en el mismo hueco. Las mismas se realizaron con la ayuda de un barreno manual. Posteriormente, las muestras se identificaron correctamente y se llevaron al laboratorio de Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), al cual se le solicitó un análisis químico completo.

En el siguiente cuadro se encuentra la distribución de las muestras de suelo recolectadas:

Cuadro 1. Distribución del muestreo de suelos en diferentes lotes de La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, 2018.

Lote 1		Área: 0,18 ha	
Estratificación por pendiente	Cantidad de muestras a 0,20 m	Cantidad de muestras a 0,40 m	Total
Parte alta	1	1	2
Parte media	1	1	2
Parte baja	1	1	2
Subtotal	3	3	6
Lote 2		Área: 3,61 ha	
Estratificación por pendiente	Cantidad de muestras a 0,20 m	Cantidad de muestras a 0,40 m	Total
Parte alta	2	2	4
Parte media	0	0	0
Parte baja	2	2	4
Subtotal	4	4	8
Lote 3		Área: 4,41 ha	
Estratificación por pendiente	Cantidad de muestras a 0,20 m	Cantidad de muestras a 0,40 m	Total
Parte alta	2	2	4
Parte media	0	0	0
Parte baja	2	2	4
Subtotal	4	4	8
Lote 4		Área: 7,23 ha	
Estratificación por pendiente	Cantidad de muestras a 0,20 m	Cantidad de muestras a 0,40 m	Total
Parte alta	2	2	4
Parte media	2	2	4
Parte baja	2	2	4
Subtotal	6	6	12
Total	17	17	34

Posteriormente, los resultados del muestreo de suelos se analizaron con la metodología propuesta por Molina (2002) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Interpretación de análisis de suelos (Molina, 2002).

Variable	Unidades	Bajo	Medio	Óptimo	Alto
Ph	cmol/L	< 5	5 – 6	6 – 7	> 7
Ca	cmol/L	< 4	4 – 6	6 – 15	> 15
Mg	cmol/L	< 1	1 – 3	3 – 6	> 6
K	cmol/L	< 0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 0,8	> 0,8
Acidez	cmol/L		0,3 – 1	< 0,3	> 1
SA	%		10 - 30	< 10	> 30
P	mg/L	< 12	12 - 20	20 – 50	> 50
Fe	mg/L	< 5	5 – 10	10 – 50	> 50
Cu	mg/L	< 0,5	0,5 – 1	1 – 20	> 20
Zn	mg/L	< 2	2 – 3	3 – 10	> 10
Mn	mg/L	< 5	5 – 10	10 – 50	> 50

Fuente: Molina (2002).

Simbología: ph= Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución, Ca= Calcio, Mg= Magnesio, K= Potasio, SA= Saturación de Acidez, P= Fósforo, Fe= Hierro, Cu= Cobre, Zn= Zinc y Mn= Manganeseo.

4.2.1.3 Definición de las escalas y niveles de organización.

En los procesos de restauración ecológica se definen diferentes objetivos o metas, consecuentemente la escala y nivel de organización varía. En este paso se definió que la escala y el nivel de organización para esta propuesta de restauración es de tipo regional o de nivel ecosistémico, a partir de los objetivos de este proyecto y con base en los distintos conceptos de escala y nivel de organización de la restauración ecológica, propuestos por Vargas (2011) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Conceptualización de las diferentes escalas y niveles de organización de la restauración ecológica (Vargas, 2011).

Escala y nivel	Interpretación
Escala local y nivel de especie	Pretende la recuperación de poblaciones de una especie en particular tratando de recrear su hábitat, por lo que su objetivo es específico y claro.
Escala local y nivel de comunidad	La restauración hace énfasis en el restablecimiento de la comunidad original, especialmente con fines de preservación de comunidades raras o en peligro de extinción, o la restauración de trayectorias sucesionales de especies pioneras
Escala regional o nivel ecosistémico	En este caso el objetivo de la restauración es la recuperación de algunas funciones del ecosistema, lo implica que lo que se debe retornar a su estado pre-disturbio son las condiciones ecológicas que garantizan la recuperación de la composición, estructura y función del ecosistema, integrando procesos a gran y pequeña escala. Es la escala más recomendada para establecer los objetivos de la restauración.
Escala de paisaje	Implica la búsqueda de la reintegración de ecosistemas fragmentados y paisajes más que el enfoque sobre un único ecosistema.

Fuente: Vargas (2011).

4.2.1.4 Establecimiento de escalas y jerarquías de disturbio.

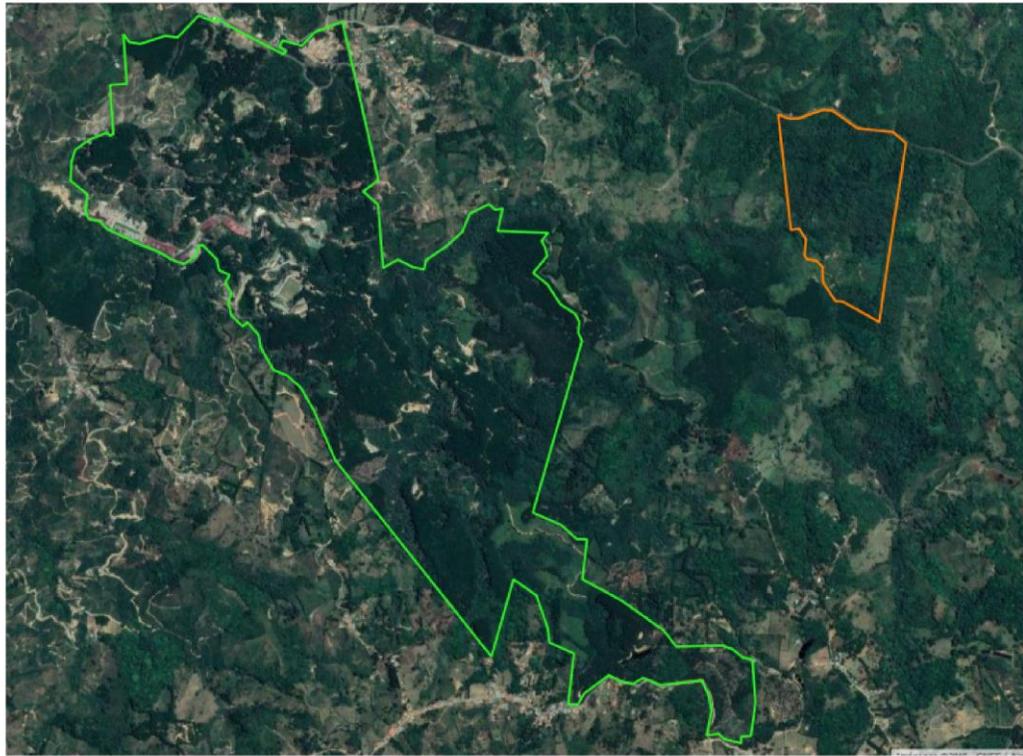
De acuerdo con GREUNAL, (2007) se define como disturbio cualquier evento relativamente discreto en el tiempo, que irrumpe en la estructura de las poblaciones, las comunidades o el ecosistema y cambia la disponibilidad de recursos y el ambiente físico, además es considerado directo si su acción afecta la supervivencia o permanencia de los individuos en un lugar determinado, e indirecto si su acción altera los niveles de recurso de un modo u otro, para finalmente repercutir en la supervivencia o permanencia de los individuos.

Para el área de estudio dentro de La Finca La Lucha, como punto de partida se categorizó el disturbio como de origen natural directo, siendo este provocado por la Tormenta Nate el pasado 5 y 6 de octubre del 2017.

4.2.2 Fase experimental

4.2.2.1 Evaluación del potencial en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia).

Dicha finca se encuentra a una distancia de 4 km, aproximadamente, de La Finca La Lucha, políticamente se ubica en los cantones de Desamparados y Dota, específicamente en los distritos de San Cristóbal y Jardín, respectivamente. Su uso en los últimos 30 años ha sido de conservación y cuenta con un área de 43,86 ha. La Finca La Sinfónica se cataloga como el único relicto de bosque más conservado y de gran dimensión que se encuentra en la zona, asimismo presenta una relativa cercanía con La Finca La Lucha, tales condiciones determinaron su elección como ecosistema de referencia para el plan de restauración (Figura 5). Sin embargo, conforme lo observado durante las visitas de campo, se percibe que este relicto de bosque fue aprovechado intensivamente, debido a la presencia de tocones de gran dimensión así como la existencia de una trocha y posible pista de arrastre de extracción de madera.



Simbología

Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia)

Finca La Lucha

Imagen Satelital de Google



Figura 5. Ubicación geográfica de la Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San José Costa Rica, 2018.

1. *Inventario Forestal:* Se realizó un muestreo en franjas cuya posición es perpendicular al camino que atraviesa longitudinalmente La Finca La Sinfónica, el cual fue tomado como elemento de referencia. Se establecieron 5 parcelas con forma rectangular, las cuales fueron divididas en sub parcelas de 10 x 10 m. Los parámetros evaluados en campo fueron la especie y estrato. Adicionalmente al inventario realizado en el ecosistema de referencia, se realizó un recorrido por las áreas aleñadas al río que atraviesa a La Finca La Lucha, ya que en dichas zonas fue posible observar regeneración natural. El propósito de este recorrido fue aumentar la cantidad de especies arbóreas que se pueden encontrar en la zona y

así, proporcionar una recomendación adecuada sobre las mismas en el plan de restauración.

2. *Colecta e identificación del material botánico:* Este proceso se llevó a cabo mediante la colecta de muestras botánicas de individuos dentro de las parcelas que no fueron identificados al momento de realizar el inventario. Las muestras recolectadas se identificaron en el campo con su respectivo número, el cual contempla el número de árbol, parcela y sub-parcela a la que pertenece y se almacenaron en bolsas plásticas. Posteriormente, las muestras recolectadas fueron llevadas al Herbario del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), donde se colocaron dentro de una hoja de papel periódico, las cuales se agruparon, amarraron y colocaron dentro del secador en sus respectivas prensas de madera, durante 3-4 días. Finalmente fueron identificadas por los ingenieros Luis Acosta y Nelson Zamora, profesionales del área en el ITCR, ubicado en la provincia de Cartago, Costa Rica.

3. *Estructura vertical:* La evaluación de la variable estrato, estuvo basada en la metodología planteada por la IUFRO (Lamprecht 1990, citado por Vargas 2012). En la cual se clasifica la estructura vertical en tres estratos o pisos altitudinales:

Estrato o piso superior: Individuos que se encuentran a una altura mayor a dos terceras partes de la altura promedio del bosque en estudio.

Estrato o piso medio: Individuos que se encuentran a una altura entre las dos terceras partes y una tercera parte de la altura promedio del bosque en estudio.

Estrato o piso inferior: Individuos que se encuentran a una altura menor a una tercera parte de la altura promedio del bosque en estudio.

4. *Estructura horizontal:* Se caracterizó mediante los siguientes variables:

Frecuencia: Es la existencia o falta de una especie dentro de una determinada parcela y se expresa como un porcentaje (Lamprecht, 1990).

Abundancia: Es el número de árboles por especie. La abundancia absoluta es el número de individuos de una especie; la relativa es una proporción porcentual del número de individuos de una especie entre la sumatoria de los individuos de todas las especies (Lamprecht, 1990).

Clases de frecuencia: A partir de la agrupación de las especies de acuerdo a frecuencias absolutas distribuidas en cinco clases, se determinó si una especie tiene distribución horizontal continua (frecuencia absoluta mayor al 60 %) (Lamprecht, 1990). Estas clases de frecuencia son:

Cuadro 4. Clases de frecuencia, según Lamprecht (1990).

Clase	Frecuencia Absoluta
I	1 - 20%
II	21 - 40%
III	41 - 60%
IV	61 - 80%
V	81 - 100%

Fuente: Lamprecht (1990).

Curva especie/área

Esta relación es utilizada para determinar el área mínima de muestreo. Esto es, obtener un área mínima que asegure que dentro de ella van a estar representadas casi la totalidad de las especies arbóreas de un bosque en particular (Zamora, 2010). Lamprecht (1990) citado por Zamora (2010), da como criterio para determinar el área mínima de muestreo, el momento en el cual un aumento del 10% del área, corresponda un aumento en el número de especies menor al 10%. Para el cálculo de la curva especie/área se siguen los siguientes pasos:

1. Selección aleatoria de una parcela de área conocida.

2. Determinación del número de especies presentes dentro de la parcela.
3. Adición de una segunda parcela.
4. Se incluyen dentro del listado de la primera parcela todas las especies nuevas.
5. De esta manera se repiten los pasos 3 y 4, hasta un punto donde la adición de especies por unidad de área no es significativa.

Índices y coeficiente

Los índices que se utilizaron son los de diversidad de Shannon-Wiener, Homogeneidad y Simpson, los cuales se utilizan para determinar la diversidad del ecosistema en estudio, en este caso La Finca La Sinfónica, ecosistema de referencia utilizado para el plan de restauración.

En cuanto a los coeficientes, estos se utilizan para determinar las similitudes o disimilitudes de los bosques en estudios y en este caso, se calculó únicamente el Coeficiente de Mezcla (CM).

Índice de Shannon-Wiener

Determina la suma de probabilidades de las especies, también es posible calcular la homogeneidad de la distribución para una cantidad de especies. Presentan un rango de valores entre 1,5 a 3,5, donde los valores más cercanos a 3,5 corresponden a sitios de alta diversidad (MaGuarran, 1988 citado por Zamora, 2010). Se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$H = \sum_{i=1}^S p_i * \ln p_i$$

Donde:

S=Número de especies.

p_i = Proporción de individuos de la especie "i" respecto al total.

Índice de equidad o Uniformidad de Shannon

El resultado de este índice corresponde a la homogeneidad exhibida por la comunidad, que equivale a la proporción entre la diversidad y la diversidad máxima (Melo y Vargas, 2003). Este índice varía entre 0, valor que toma cuando todos los individuos pertenecen al mismo grupo, y 1, si los individuos se reparten homogéneamente en los distintos grupos (Del Río, Montes, Cañellas y Montero, 2003). Se calculó mediante:

$$E = \frac{H'}{H_{max}}$$

Donde:

H' = Índice de Shannon.

H_{max} = Log K.

K = Número total de especies en el muestreo.

Índice de Simpson

Se refiere a la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una misma población, pertenezcan a una misma especie. Es altamente sensible a los valores de abundancia de las principales especies y toma valores entre cero y uno, donde los valores cercanos a cero corresponden a sitios muy diversos (Quesada, 1997, citado por Zamora 2012). Se calculó con la siguiente fórmula:

$$D = \sum \frac{[n_i(n_i-1)]}{[N(N-1)]}$$

Donde:

n_i = Número de individuos de la especie.

N= Total de individuos.

Coficiente de Mezcla

Mide la intensidad de la mezcla en bosques naturales, donde 1 es el mayor valor de este coeficiente, lo que quiere decir que cada individuo nuevo es una especie nueva para el inventario (Bascopé y Jorgensen, 2005).

$$CM = \frac{S}{I}$$

Donde:

S=Número total de especies.

I=Número total de individuos.

4.2.2.2 Establecimiento de las barreras de la restauración.

Se realizó giras de campo, mediante las cuales se pudo observar y determinar cuáles fueron las principales barreras que afectan el proceso de restauración en el sitio.

4.2.2.3 Selección de las especies adecuadas para la restauración.

Se realizó con base en la lista de especies obtenida del inventario forestal en la evaluación del potencial de regeneración (paso 5.2.2.1), seleccionando las especies más representativas de la zona y tomando en cuenta los diferentes atributos para la selección de plantas propuestos por (Rodríguez y Vargas, 2007).

Cuadro 5. Atributos adaptados para la selección de plantas leñosas (Rodríguez y Vargas, 2007).

Morfológicos	Reproductivos	Otros
Planta completa -Hábito: Arbusto, árbol, hierba. -Altura. Copa -Forma -Cobertura -Densidad del follaje Hoja -Tipo -Área foliar	Sexual. Vegetativa. Estrategia de dispersión -Zoócora, anemócora, barócora, etc. Estrategia de polinización -Ornitofilia, entomofilia, anemofilia. Bancos de semillas y plántulas.	Nivel de población: abundante, frecuente y distribución. Asociación -Con otras especies (tanto nativas como exóticas). -Presencia de micorrizas. Tolerancia a la luz. Fijadora de nitrógeno. Producción de hojarasca. Estado fitopatológico. Diferentes usos -Control de erosión. -Protección recurso hídrico. -Ornamental.

Fuente: Rodríguez y Vargas (2007).

4.2.2.4 Propagación de especies a utilizar.

La propagación de las especies forestales seleccionadas en el paso anterior, no se desarrolló en la propuesta, debido a que se contratará el servicio del Vivero Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, el cual se encargará de la producción de las especies seleccionadas.

4.2.2.5 Implementación de estrategias para superar las barreras a la restauración.

Para superar las barreras a la restauración, se tomó como base el planteamiento de cinco grupos de estrategias, propuestos por Vargas (2007) y que se mencionan a continuación:

- a) Basadas en la remoción y control de los tensionantes leves.
- b) Basadas en la adición de especies

- c) Basadas en la regulación de la tasa de procesos ecosistémicos, es decir, los flujos entre los compartimientos
- d) Basadas en remoción de tensionantes severos.
- e) Basadas en regulación de fuentes de entradas de energía.

4.2.3 Fase de Monitoreo

4.2.3.1 Monitorear el proceso de la restauración.

Según SER (2004), existen tres estrategias para hacer una evaluación: comparación directa, análisis de atributos y análisis de la trayectoria. En la comparación directa se determinan o miden los parámetros seleccionados de la referencia y de los sitios de restauración, si la descripción de la referencia es minuciosa, se podrán comparar hasta 20 o 30 parámetros que incluyen aspectos tanto de la biota como del ambiente abiótico. En el análisis de atributos se utilizan datos cuantitativos y semi-cuantitativos de un monitoreo programado y de otros inventarios, para juzgar hasta qué grado se ha logrado cada meta y en el análisis de la trayectoria es una estrategia para interpretar grandes juegos de datos comparativos, donde se grafica periódicamente los datos recopilados del sitio de restauración para establecer tendencias que confirmen si la restauración está siguiendo la trayectoria deseada (SER, 2004). De acuerdo a lo explicado anteriormente, en la elaboración de la propuesta de restauración se definió que el sistema de monitoreo a diseñar es el de análisis de la trayectoria.

4.2.4 Fase de consolidación

4.2.4.1 Consolidar el proceso de restauración.

Al ser una etapa que depende de los resultados de la ejecución de la restauración ecológica, no es parte de este proyecto ya que el mismo se desarrolla de manera teórica, es decir, en la elaboración de la propuesta de restauración.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. *Aspectos relevantes del sitio en estudio*

La influencia climatológica que recibe La Finca La Lucha es propia de la Vertiente del Pacífico, específicamente ubicándose en la cuenca Costero Pacífico Central, donde el afluente sobresaliente es el Río Grande de Candelaria. Sin embargo, La Finca se encuentra relativamente cerca de la Vertiente Atlántica, siendo el Río Reventazón su afluente más sobresaliente, por lo que también recibe gran influencia de esta zona.

Precipitación y temperatura

De acuerdo a los reportes generados para los años 2016 y 2017, por la Estación Automática La Lucha, perteneciente al Instituto Meteorológico Nacional (IMN), indica que la zona se caracteriza por presentar una estación lluviosa de mayo a noviembre.

Para el caso del año 2016, los meses con mayor precipitación corresponden a mayo y octubre, mientras que enero y marzo se catalogan como los meses con menor precipitación. En cuanto a la temperatura, los meses de marzo y abril son los que presentan las máximas temperaturas, mientras que noviembre y diciembre son los meses que presentan las temperaturas mínimas (Figura 6).

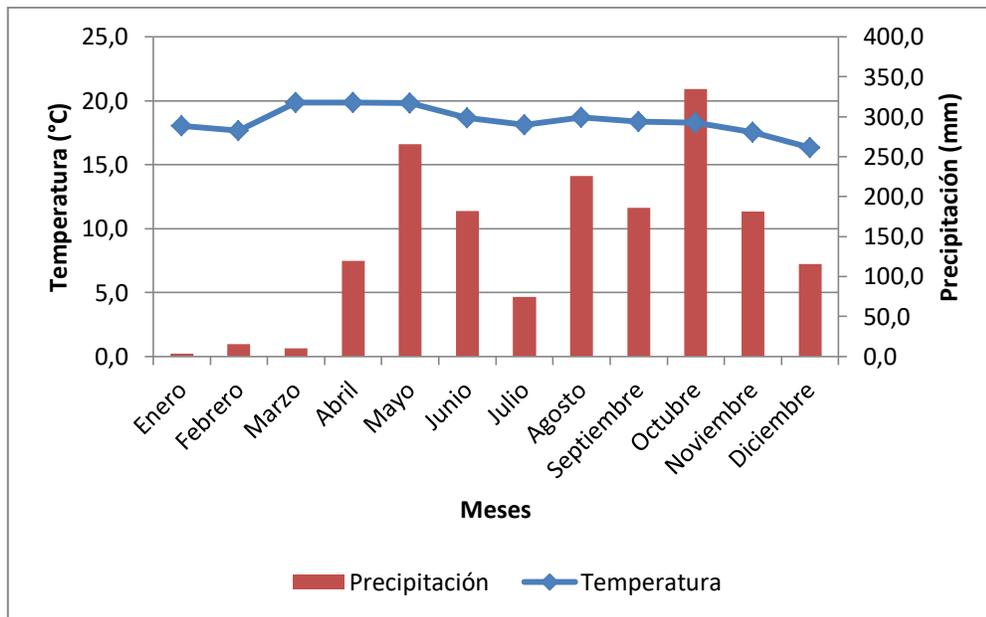


Figura 6. Climograma promedio mensual para el año 2016 en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José Costa Rica.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (2016).

En el caso del año 2017, se mantiene la misma condición del año anterior (2016) en cuanto los meses con mayor precipitación, siendo los meses de mayo y octubre los que presentan la mayor cantidad, en el caso de los meses que presentan la menor precipitación le corresponden a febrero y marzo. Por otra parte, la mayor temperatura reportada la presentan abril y mayo, mientras que los meses con menor temperatura corresponden a enero y diciembre (Figura 7).

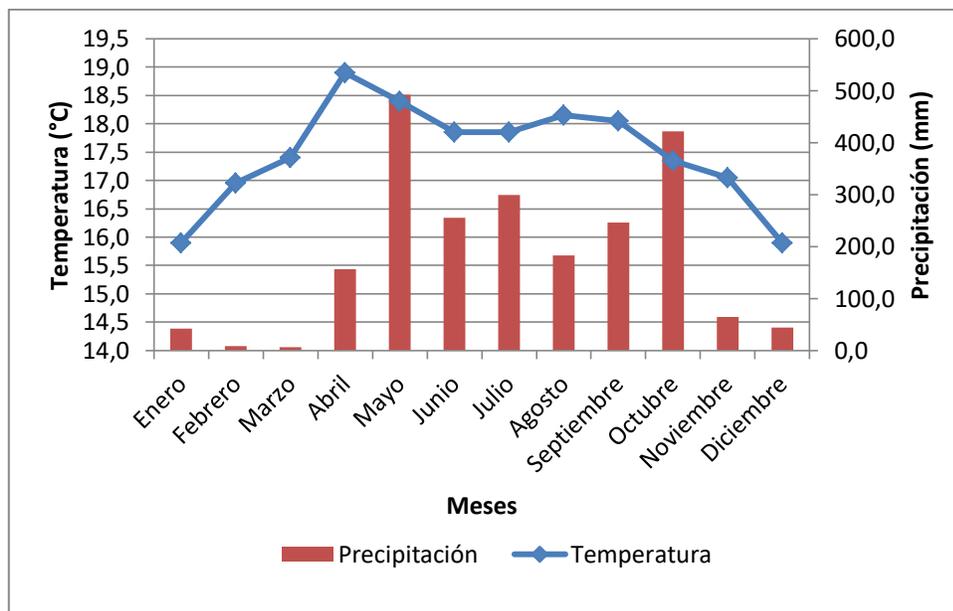


Figura 7. Climograma promedio mensual para el año 2017, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José Costa Rica.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (2017).

Humedad Relativa

En cuanto a este parámetro, los meses más húmedos corresponden a octubre y noviembre, mientras que febrero, marzo y abril presentan los menores porcentajes de humedad relativa (Figura 8).

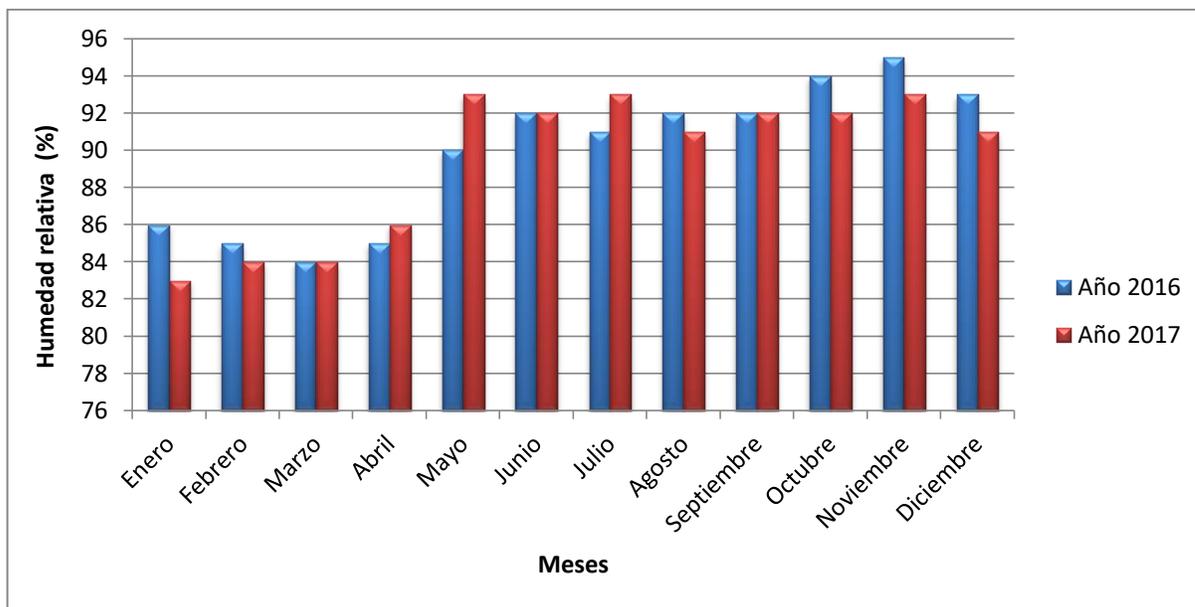


Figura 8. Humedad relativa reportada para los años 2016 y 2017, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José Costa Rica.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (2016 y 2017).

Los condicionantes naturales que influyen en el crecimiento y desarrollo de los bosques son las variables del clima y del suelo, donde algunos de los factores más importantes para caracterizar estos condicionantes naturales son la radiación, la temperatura, el contenido de CO₂ del aire, el agua o el ciclo de nutrientes.

De acuerdo con Gadow, Sánchez y Álvarez (2007), el agua es un factor ambiental muy importante para el crecimiento de las plantas, puesto que su disponibilidad influye en la fotosíntesis tanto directamente por la necesidad de su presencia en los procesos bioquímicos fotosintéticos, como indirectamente, a través de su influencia en la apertura y cierre de los estomas de las hojas, por lo que la cantidad de agua disponible en el suelo juega un papel clave en la productividad de muchas especies. Adicionalmente, Promis, Caldentey e Ibarra (2010), manifiestan que el crecimiento de las plantas se ve afectado por la temperatura del aire, la radiación solar y la humedad debido a que estos elementos influyen sobre procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis, la respiración, la germinación de semillas y la mortalidad.

Una vez explicado la importancia que tienen factores como la disponibilidad de agua, temperatura y humedad en el desarrollo de la vegetación, es trascendente disponer de información recopilada a través de los años de estas variables, en el sitio a efectuar la restauración ecológica. Dicha información se convierte en una herramienta fundamental durante la planificación y ejecución del proceso de restauración, influyendo en la toma de decisiones de aspectos como la planificación de labores en el campo, que contempla la duración, personal e insumos a utilizar, así como el momento adecuado para realizar enmiendas, plantar y monitorear, las cuales son las acciones que repercuten en el grado de éxito de la restauración ecológica.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura [FAO], (1978), plantea que la mejor época para plantar es aquella en la cual el suelo se encuentra mojado y cuando las condiciones atmosféricas son húmedas. Además, enfatiza que debe evitarse los días secos, ventosos y soleados. De esta manera, la información con la que se cuenta de estas variables para La Finca La Lucha (Figuras 6, 7 y 8) sugiere que la época idónea para iniciar la plantación de los árboles corresponde al mes de mayo, ya que la temperatura y humedad son idóneas, y la disponibilidad de agua es mayor, proporcionando condiciones óptimas para un buen desarrollo del material vegetal. En cuanto a las labores de limpieza y aplicación de enmiendas, los meses recomendados corresponden a enero y febrero, debido a las bajas precipitaciones y temperatura, lo cual favorece la facilitación de trabajo, traslado y utilización de herramientas en el campo.

2. *Caracterización de la topografía*

Con base en el Modelo de Elevación Digital con resolución de 12,5 m del satélite de ALOS PALSAR, se obtuvo el patrón de las curvas de nivel de las zonas afectadas por la tormenta, cuyo intervalo entre curvas es de 5 m para una mayor precisión y visualización de la forma del terreno (Figura 9).

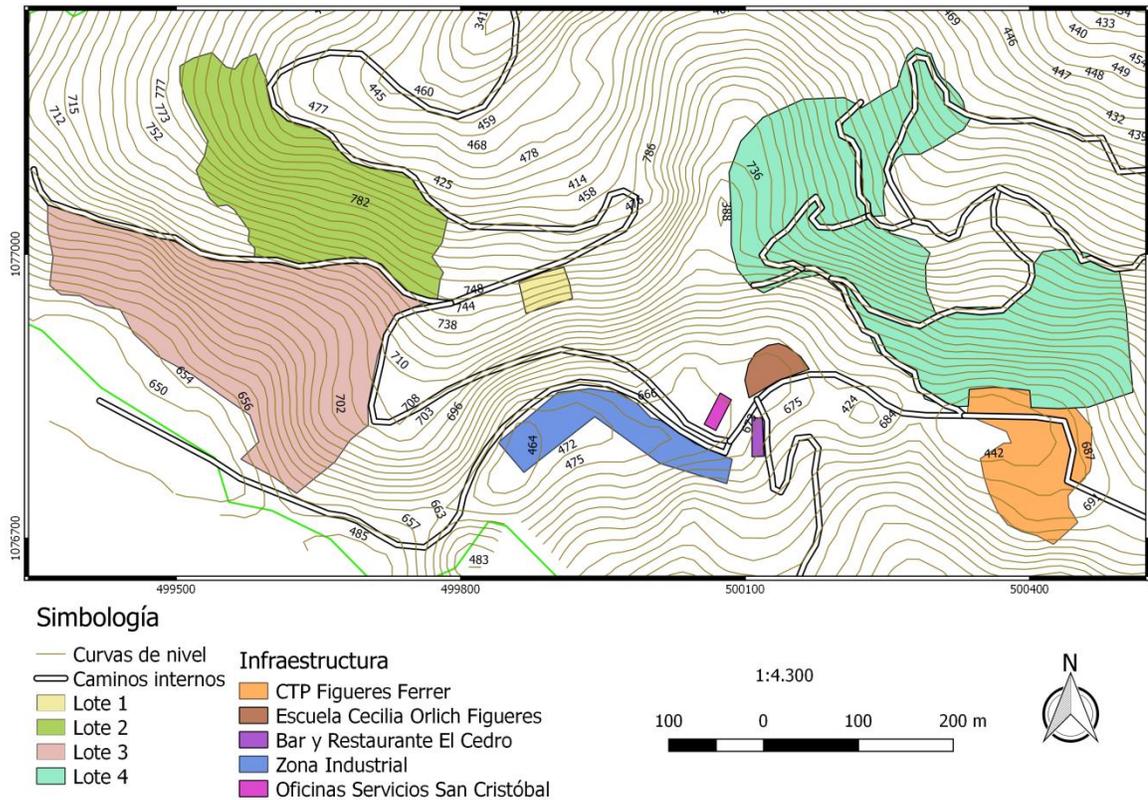


Figura 9. Visualización de las curvas de nivel en los diferentes lotes afectados por el paso de la tormenta Nate, Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

El resultado obtenido muestra un patrón de curvas con líneas muy juntas, cuyo significado es la presencia de pendientes muy pronunciadas, asimismo las curvas muestran un espaciado relativamente uniforme, lo que significa que la pendiente es uniforme, siendo ambas situaciones características de la zona (Navarro, 2008). Por tal motivo, se optó por sectorizar en lotes el área afectada por la tormenta, para que posteriormente el trabajo se realice de manera óptima. También, se puede apreciar las diferentes infraestructuras (Colegio, escuela, zona industrial, etc.), que se encuentran aledañas a estas zonas afectadas, implicando así un proceso de trabajo sumamente cuidadoso y óptimo (Figura 9). Otra información de gran importancia

obtenida en el levantamiento, es la presencia de caminos internos, los cuales son las principales rutas de acceso a los diferentes lotes.

Tal información proporciona un medio para organizar y optimizar la ejecución de labores en el campo de acuerdo con las condiciones que se presentan en cada lote, las cuales son determinantes en el grado de complejidad del proceso de restauración. De modo que, dichas condiciones deben de ser tomadas en cuentas a la hora de proponer e implementar las estrategias para restaurar, lo que abarca tres aspectos fundamentales; la planificación de la preparación del terreno, la propuesta de diferentes diseños de plantación (espaciamientos) que se adecuen a la topografía de cada lote y la elección de especies adecuadas (grupo ecológico, patrón arquitectural, características de soporte, hábitat).

El primer aspecto, la preparación de terrenos con altas pendientes, según el Instituto Forestal [Infor] (1998), limita la utilización de métodos mecanizados del suelo por lo que se emplean métodos manuales, cuyo propósito al final es dejar el suelo mullido y libre de malezas para que el suelo retenga agua y las raíces se desarrollen correctamente.

En el segundo aspecto, la propuesta de distintos espaciamientos de plantación, la Autoridad del Canal de Panamá (2006), destaca que en sitios con pendientes pronunciadas se emplea el método de tresbolillo, con el objetivo de disminuir la fuerza del agua al encontrar árboles que actúan como barreras, mientras que el Instituto Forestal [Infor] (1998) plantea un diseño irregular cuando el terreno no permite un arreglo uniforme debido a obstáculos, por lo que las plantas se ubican donde mejor queden dispuestas, respetando un espacio mínimo que ocupa cada individuo.

En el caso del último aspecto, la elección de especies, Ruíz (2002), manifiesta que es necesario recopilar una lista de las especies valiosas y útiles contenidas en el área de estudio y que comenzar con especies nativas de comprobada adaptabilidad a la región es un fundamento lógico.

Debido a lo explicado anteriormente, se recomienda realizar una limpieza del sitio a restaurar (remoción de escombros y control de maleza), también se propone diferentes diseños de plantación y que la elección de las especies sea congruente con la topografía de los lotes, evitándose así problemas de adaptabilidad.

La información obtenida en el levantamiento, debe ser tomada en cuenta para determinar la cantidad de personal óptimo, y para la proyección de la duración de cada labor y por ende en la estimación de costos económicos. Asimismo, la disponibilidad de dicha información, brinda el conocimiento necesario y fundamental de los caminos internos dentro de cada lote, lo que se traduce como una ventaja de facilitación de acceso, tanto para el personal como del transporte de insumos y herramientas.

3. *Resultados del estudio de suelos*

El resultado del estudio de suelos se encuentra distribuido de acuerdo con su respectivo lote (Cuadro 6). Para el lote uno, los resultados mostrados son absolutos, mientras que para los demás lotes (2, 3 y 4) corresponden a valores promedio.

Cuadro 6. Resultados del análisis químico de suelos aplicado a los diferentes lotes afectados por la tormenta Nate, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Análisis Químico de Suelos														
Solución Extractora: KCl-Olsen Modificado		pH H₂O	cmol(+)/L					%			mg/L			mS/cm
Lote	Ubicación	5,5	0,5	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	CE
		5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5	1,5
1	PA	4,8	3,0	4,9	2,0	0,5	10,4	29,4	2,0	2,4	2,5	226,5	60,5	0,2
1	PM	5,1	1,5	6,1	2,8	0,6	10,9	13,7	1,5	2,2	2,5	156,5	85,5	0,2
1	PB	5,2	1,6	7,1	2,7	0,7	11,4	9,1	2,5	2,3	3,0	166,0	124,0	0,2
2	PA	5,1	3,4	5,3	1,1	0,5	10,3	37,7	2,8	2,3	2,0	258,3	36,0	0,1
2	PB	5,0	2,4	3,7	1,5	0,6	8,1	29,3	1,5	2,3	2,0	212,8	80,0	0,1
3	PA	5,4	1,3	10,3	2,8	0,6	15,2	19,8	2,0	3,2	2,5	67,0	88,0	0,2
3	PB	5,8	0,5	14,2	3,7	0,7	19,1	1,9	3,8	3,5	3,3	53,8	65,8	0,2
4	PA	5,5	0,9	19,4	3,4	0,6	24,3	3,7	2,0	3,7	3,0	92,5	77,0	0,2
4	PM	4,8	4,4	6,3	1,2	0,4	12,3	40,0	4,5	2,1	2,8	362,3	55,3	0,1
4	PB	5,9	0,2	14,5	2,7	0,8	18,1	1,3	3,8	2,9	3,0	81,5	46,3	0,2

Fuente: Centro de Investigaciones Agronómicas [CIA], (2018).

Simbología: Pro= Profundidad, Ub= Ubicación, PA= Parte Alta, PM= Parte Media, PB= Parte Baja.

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

Interpretación

Acidez intercambiable

De acuerdo con Oliva (2009), la acidez intercambiable es el resultado de la presencia de hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{+3}), causantes de la disminución en el pH, donde la alta concentración de Al^{+3} genera toxicidad para las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como solubilización, disponibilidad y absorción de nutrimentos, físicas como estructura y estabilidad de agregados y biológicas como tipo de organismos presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces lo cual afecta en forma negativa el crecimiento del cultivo, la calidad de las cosechas y deficiencias nutricionales.

Cuando el valor de acidez intercambiable es mayor a 0,5 cmol(+)/l, algunas plantas pueden presentar problemas moderados de crecimiento mientras que un contenido mayor a 1 cmol(+)/l se considera muy alto. El valor óptimo de acidez intercambiable debería ser inferior a 0,3 cmol(+)/l (Molina 2002). Explicado lo anterior, se observa de forma general, que los lotes presentan un problema de acidez, siendo los lotes 1 y 2, los que presentan mayor cantidad de valores superiores a 1 cmol(+)/l, clasificándose como de condición muy alta. En cuanto a los Lotes 3 y 4, en su mayoría tampoco presentan valores óptimos de acidez intercambiable, cuyos resultados varían de niveles medios a altos, por lo que también presentan problemas con este parámetro.

Porcentaje de saturación

Molina (2002), lo cataloga como el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez, donde es común aceptar que los valores de saturación de acidez mayores al 10%, afectan de manera negativa el crecimiento de especies vegetales poco tolerantes a la presencia de Al, mientras que el valor de 60% es considerado como el máximo para especies tolerantes a la acidez del suelo, donde valor deseable para la mayoría de las plantas oscila entre 10 y 25%. Los resultados obtenidos para este parámetro, muestran que el único lote que se aproxima al rango deseable es el Lote

1 con un valores entre 9,1%-29,4%, mientras que Lotes 2, 3 y 4 presentan valores entre 29,3-37,7%, 1,9%-19,8% y 1,3%-40% respectivamente, mostrando condiciones tanto altas como bajas, en el mismo lote.

Variable de pH

El pH del suelo está directamente relacionado con el porcentaje de saturación de acidez, ya que el Al intercambiable precipita cuando el pH es superior a 5,5, por lo que cuando el pH está por debajo de ese valor, la solubilidad del Al se incrementa, al igual que el riesgo de causar toxicidad a las raíces. Un suelo con pH inferior a 5 se considera muy ácido y el pH óptimo para la mayoría de los cultivos debería estar entre 6 y 7, aunque muchos cultivos de origen tropical pueden crecer bien con un pH de 5,5 a 6 Molina (2002). De manera que con los resultados obtenidos, los suelos de todos los Lotes analizados se pueden clasificar como ácidos, con valores que se encuentran en el rango de 4,8 a 5,9 los cuales se clasifican en los niveles de bajo y medio, siendo el lote 1 el que presenta el valor más bajo y el lote 4 el valor más alto. Bertsch y Méndez (2012), destaca que en Costa Rica más de la mitad de los registros (53%) presentan valores de pH en agua por debajo del nivel crítico (5.5) y 90% de los datos estuvieron en un rango que va desde 4,4 hasta 6,7; por lo que encontrar valores de pH por fuera de ese ámbito es poco común en Costa Rica.

Contenido de bases

Villarroel (1988) enfatiza que el Ca, Mg y el K guardan una relación directa con el pH, bajo condiciones de alta acidez disminuyen rápidamente las concentraciones de estos en los suelos, produciéndose deficiencia.

El contenido de bases intercambiables (Ca, Mg y K) define en gran parte el grado de fertilidad del suelo, especialmente los dos primeros, donde los suelos fértiles se distinguen por tener altos contenidos de Ca y Mg, mientras que los suelos muy ácidos generalmente presentan deficiencias de Ca y Mg. Entre más alto es el contenido de Ca y Mg, mejor es la fertilidad del suelo, por lo que, si el suelo presenta

una suma de bases inferior a 5 cmol(+)/l se considera que es de baja fertilidad, de 5-12 cmol(+)/l es de fertilidad media, y más de 12 cmol(+)/l es alta fertilidad (Molina 2002). Por lo que los resultados muestran que los Lotes 1 y 2 presentan una fertilidad media, con valores entre 7,4 cmol(+)/l-10,5 cmol(+)/l y 5,8 cmol(+)/l-6,9 cmol(+)/l respectivamente, mientras que los Lotes 3 y 4 presentan alta fertilidad, con valores promedio entre 13,8 cmol(+)/l-18,6 cmol(+)/l y 8 cmol(+)/l-17,9 cmol(+)/l, respectivamente.

Contenido de fósforo (P)

El P es un elemento de gran importancia en la nutrición de las plantas y con frecuencia presenta limitaciones en la fertilidad de los suelos. La mayoría de los suelos vírgenes o poco explotados presentan bajo contenido de este elemento, mientras que los suelos que han sido manejados con cultivos intensivos durante muchos años y con dosis altas de fertilizantes, llegan a alcanzar valores altos de P, sin embargo, suelos muy ácidos y de origen volcánico, presentan alta capacidad de fijación de P disminuyendo aún más su disponibilidad para las plantas. El valor óptimo para esta variable se encuentra en el rango entre 12-20 (Molina 2002).

En el caso de los lotes analizados, todos presentan un contenido de P bajo, siendo el Lote 1 el que presenta el valor promedio más bajo (2 mg/l), consecutivamente el Lote 2, con 2,1 mg/l, el Lote 3 con 2,9 mg/l y por último, el Lote 4 con un valor de 3,4 mg/l. Bertsch y Méndez (2012), destacan que en los suelos de Costa Rica el P es el elemento mineral que con mayor frecuencia se encuentra limitante (58% de las muestras), también realizan una distinción de tres zonas bien diferenciadas donde se presenta con mayor frecuencia problemas con bajo P, las cuales son las siguientes; la región noroeste del país, la región correspondiente a los cantones cercanos a la Península de Nicoya y por último la región del Pacífico Central y Sur, y las cuales presentan más de 75% de las muestras deficientes en P y coinciden con las regiones donde hay un predominio de Ultisoles, caracterizados por su bajo contenido natural óxidos de Fe y Al, ubicándose La Finca La Lucha en esta región.

Contenido de micronutrientes

Los micronutrientes se presentan en cantidades muy pequeñas en los suelos y los procedimientos de análisis con frecuencia no son tan efectivos para determinar su contenido disponible real (Molina 2002). Por otra parte Villarroel (1988), afirma que el pH del suelo afecta de modo notable la disponibilidad y absorción de los micronutrientes por las plantas.

El Zn es el micronutriente que con más frecuencia se presenta deficiente en suelos del país, no obstante, es el elemento que resulta más confiable en el análisis utilizando la solución extractora de Olsen Modificado, siendo su nivel óptimo de 3 a 10 mg/l (Molina 2002). Sin embargo, los valores encontrados para todos los lotes se clasifican como en un nivel medio, donde los lotes 1 y 2 presentan el valor más bajo (2,3mg/l) mientras que el lote 4 el valor más alto (2,9 mg/l).

El Cu rara vez presentan niveles bajos en los suelos, a menos que sean muy arenosos y bajos en materia orgánica (Molina 2002). El estado de este micronutriente en los lotes se clasifica como óptimo en el rango de 1 – 20 mg/l, sin embargo los valores obtenidos no superan el valor de 3 mg/l.

Finalmente, se obtuvo un nivel alto de Fe y Mn, lo cual coincide con que su concentración es alta en muchos suelos ácidos y de origen volcánico. Sin embargo, el Olsen Modificado tiende a sobrestimar la disponibilidad de estos nutrientes, debido a que el extractante ataca la materia orgánica liberando parte del Fe y Mn que se encuentra acomplejado en ella, por lo que los resultados son más útiles para determinar riesgo de toxicidad que para evaluar deficiencias (Molina 2002).

Además, Espinoza, Slaton y Mozaffari (s.f.) aseguran que niveles muy altos de micronutrientes no indican necesariamente que una planta será afectada por toxicidad del micronutriente específico, además sugiere que, con la excepción del zinc, los niveles de estos no afectan las recomendaciones de fertilización.

A raíz del análisis realizado anteriormente, se resume que los lotes en los cuales se plantea realizar la restauración presentan problemas de acidez y de disponibilidad de nutrientes, por lo que para corregir estas situaciones se recomienda aplicar una enmienda con el fin de estabilizar la cantidad de acidez y una fertilización para un buen desarrollo del material vegetal.

Ruiz (2002), expresa que en los lugares donde los suelos son muy ácidos para el óptimo crecimiento de plantas, la aplicación de varios grados de cal puede corregir la situación, pero que las cantidades de cal que se necesitan varían de acuerdo al grado de cambio en pH deseado y el tipo de cal usada. Se recomienda aplicarla en los respectivos hoyos de cada planta.

En el caso de la fertilización, la FAO (1987), enfatiza que es importante la época de aplicación, donde para algunas especies y tipos de suelos puede ser conveniente la adición de fertilizantes en el momento de plantar mientras que para otros casos, los fertilizantes se apliquen tiempo después. Infor (1998), plantea los siguientes cuatro diferentes métodos de aplicación de fertilizantes (Figura 10); la aplicación en cordón (A) que se realiza alrededor de la planta a unos 30 cm del tallo, la aplicación por puntos (B) donde se realizan cuatro pequeños orificios en los cuales se reparte el fertilizante a unos 20 cm del tallo, la aplicación con sello (C) el cual se realiza al momento de la plantación y se aplica al fondo del hoyo donde posteriormente se cubre con 3 cm de tierra y finalmente la aplicación en mezcla (D), que se aplica en el fondo del hoyo y luego se revuelve completamente con la tierra, para la posterior plantación.

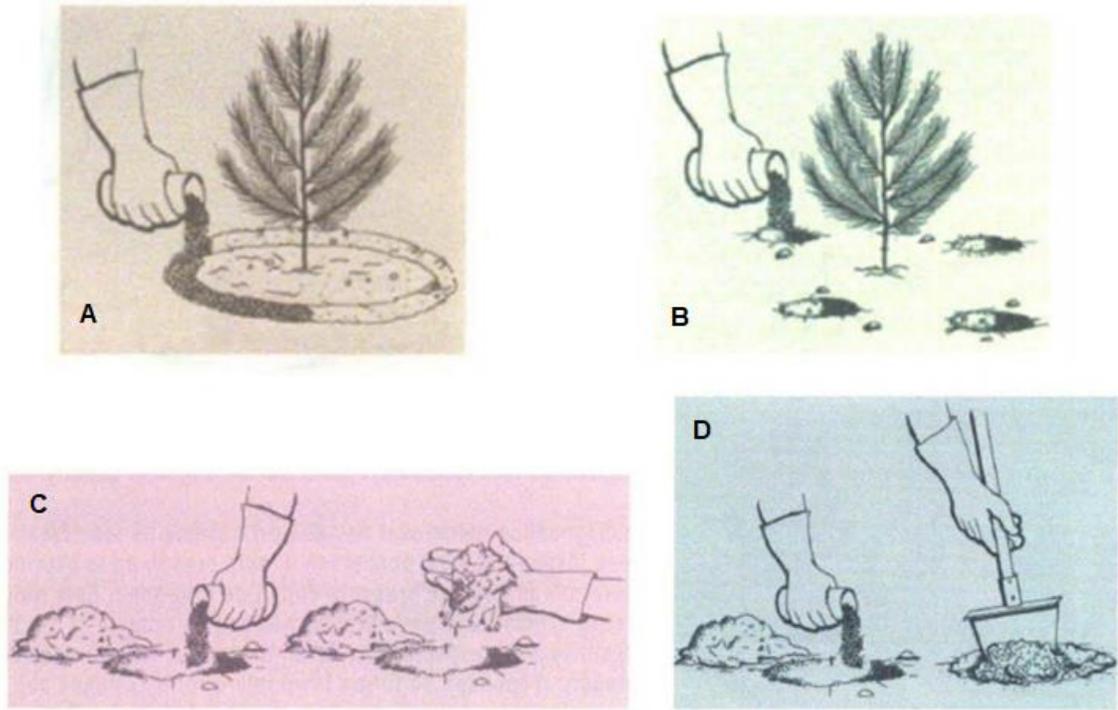


Figura 10. Formas de aplicación de fertilizantes.

Fuente: Instituto Forestal [Infor], (1998).

De manera que la labor de encalado se recomienda realizar un mes antes de la plantación, mientras que el fertilizado se realice al momento de plantación mediante el método (D), directamente en el hoyo y mezclado con la tierra.

Adicionalmente, la falta de fertilizantes se puede notar mediante los síntomas visuales, que son usualmente los primeros signos de que las plántulas están creciendo anormalmente, dentro de los más comunes son: atrofia severa, crecimiento anormal o retrasado que se puede notar en agujas torcidas o malogradas, descoloramiento de las hojas (amarillo brillante o rojo en vez de verde) y crecimiento anormal de la raíz (Ruíz, 2002).

4. *Caracterización de la flora y vegetación*

En el ecosistema de referencia, se encontraron un total de 37 especies, las cuales se agruparon en 26 familias (Cuadro 7).

Cuadro 7. Lista de especies arbóreas identificadas en el ecosistema de referencia Finca La Sinfónica, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Familia	Nombre científico	Nombre Común	No. Individuos	Gremio ecológico
Actinidiaceae	<i>Saurauia montana</i>	Moquillo	5	HE
Actinidiaceae	<i>Saurauia yasicae</i>		1	I
Adoxaceae	<i>Viburnum venustum</i>		1	HE
Adoxaceae	<i>Viburnum costaricanum</i>		3	I
Araliaceae	<i>Dendropanax</i> sp		2	HD
Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla	9	HD
Asteraceae	<i>Clibadium leiocarpum</i>		1	HE
Asteraceae	<i>Critoniopsis triflosculosa</i>	Tuete	3	I
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	14	I
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>		5	HE
Clethraceae	<i>Clethra hondurensis</i>	Nance Macho	29	HD
Clusiaceae	<i>Chrysochlamys allenii</i>		1	I
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitánica</i>	Ciprés	2	HD
Fabaceae	<i>Inga oerstediana</i>		1	HD
Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i>		1	HE
Lamiaceae	<i>Cornutia pyramidata</i>		1	I
Lauraceae	<i>Nectandra cufodontisii</i>		2	I
Lauraceae	<i>Ocotea holdridgeana</i>	Aguatillo blanco, quizarrá	3	E
Lauraceae	<i>Ocotea meziana</i>	Quizarrá caca	1	HD
Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	20	HE
Meliaceae	<i>Trichilia havanensis</i>	Uruca	1	HD
Moraceae	<i>Morus insignis</i>		1	I
Primulaceae	<i>Ardisia nigropunctata</i>		1	HD
Primulaceae	<i>Myrsine coriácea</i>	Ratoncillo	19	I
Rhamnaceae	<i>Frangula discolor</i>		1	HD
Rhamnaceae	<i>Frangula oreodendron</i>		2	HD
Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	19	E
Rubiaceae	<i>Guettarda crispiflora</i>		1	I
Rubiaceae	<i>Ladenbergia brenesii</i>		2	I
Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>		22	E
Sapindaceae	<i>Billia rosea</i>		3	I
Solanaceae	<i>Solanum rovirosanum</i>	Moco	6	HE
Symplocaceae	<i>Symplocos</i> sp		1	E
Thymelaeaceae	<i>Daphnopsis americana</i>		1	HD

Familia	Nombre científico	Nombre Común	No. Individuos	Gremio ecológico
Urticaceae	<i>Cecropia polyphlebia</i>	Guarumo	1	HE
Urticaceae	<i>Urera</i> sp	Ortiga	2	HE
Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama	11	I

Simbología: HE= Heliófita Efímera, HP= Heliófita Durable, E= Esciófita, I= Indeterminada.

Se contabilizaron un total de 199 individuos en el muestreo realizado en el ecosistema de referencia, donde se encontraron 37 especies, las cuales en su mayoría se clasifican como de procedencia nativa, siendo la especie *Cupressus lusitanica* la única excepción en la lista, dicha especie fue introducida al país desde hace décadas, donde inclusive en los años de 1980 instituciones forestales de América en colaboración con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, desarrollaban investigaciones silviculturales con especies de rápido crecimiento, cuyo propósito era conocer su crecimiento y demás condiciones para posteriormente incorporarlas en las fincas de medianos y pequeños agricultores, siendo el Proyecto MADELEÑA, el documento que informa a la población sobre las ventajas de cultivar *Cupressus lusitanica*, una especie de árbol de uso múltiple en la región (Chaves y Fonseca 1991).

Recorrido en zonas de regeneración natural en La Finca La Lucha

Adicionalmente a las especies encontradas en el ecosistema de referencia, se optó por enriquecer la cantidad de las mismas realizando un recorriendo en las zonas donde se ha desarrollado regeneración natural en La Finca La Lucha, donde se encontraron especies nuevas como *Cecropia polyphlebia*, *Cedrela tonduzii*, *Ficus pertusa*, *Ocotea mollicela*, *Quercus oocarpa*, *Sambucus canadensis*, *Sloanea ampla*, *Spathodea campanulata* y *Tapirira mexicana*, siendo las especies *Quercus oocarpa*, y *Cedrela tonduzii* las más abundantes.

Quercus oocarpa, pertenece a la familia Fagaceae, la cual cuenta con unas 500 especies agrupadas en ocho géneros, donde el género *Quercus* está representado

en Costa Rica por más de 12 especies comunes en las montañas altas, específicamente en el bosque húmedo, muy húmedo y pluvial premontano, cuyas áreas son por lo general de topografía bastante accidentada, siendo una especie de gran importancia ecológica, ya que sus frutos son apetecidos por animales como las ardillas, saínos, ratones e insectos (Madrigal, 1997).

En cuanto a la especie de *Cedrela tonduzii*, esta se caracteriza por ser de porte alto, llegando a alturas de 55 metros y diámetros de 60 a 150 centímetros, siendo su madera liviana y suave y fácil de trabajar, la cual se utiliza en instrumentos musicales, ebanistería, mueblería, molduras y contrachapado (Salazar, Soihet y Méndez, 2000).

La incorporación de estas especies en la lista a tomar en cuenta para el plan de restauración, es importante ya que se cuenta con mayor reporte de cantidad de especies en la zona, por lo que constituye un fuerte enriquecimiento para el planificación de la propuesta. Sin embargo, esta información no se contempla en los diferentes análisis efectuados.

5. Estructura vertical

El ecosistema de referencia presentó una marcada diferenciación en cuanto a los pisos altitudinales, los cuales estuvieron definidos por la distribución de la vegetación presente, además con la metodología planteada por la IUFRO (Lamprecht 1990, citado por Vargas 2012), la estratificación de dicho ecosistema se realizó mediante la siguiente rúbrica:

Cuadro 8. Rúbrica para la evaluación de la variable estrato en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Estrato o piso	Rango de altura (m)
Inferior	Menor a 5
Medio	Entre 5 y 15
Superior	Mayor a 15

La distribución de las especies y sus individuos se muestran con su respectivo porcentaje (Cuadro 9), además se presentan diferentes combinaciones de pisos altitudinales, donde solo un 10,81% del total de las especies se encuentra en los todos los estratos. Lamprecht (1990) indica que estas especies presentan un comportamiento de especies con distribución vertical continua. La mayor cantidad de especies se encuentra en el piso medio (Figura 11), representando un 67,57% de las especies encontradas, mientras que la mayor cantidad de individuos se encuentra en el piso superior, con un porcentaje de 40,20. Adicionalmente, se muestra las especies encontradas en cada piso altitudinal (Cuadro 10) y se visualiza la proporción de los gremios ecológicos de las especies por cada piso altitudinal (Figura 11).

Cuadro 9. Distribución de especies e individuos por pisos altitudinales en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

	PS	PM	PI	PS+PM+PI	PS+PM	PS+PI	PM+PI
Número de especies	11	25	16	4	6	4	9
Porcentaje (%)	29,73	67,57	43,24	10,81	16,22	10,81	24,32
Número de individuos	80	72	47	68	107	68	103
Porcentaje (%)	40,20	36,18	23,62	34,17	53,77	34,17	51,76

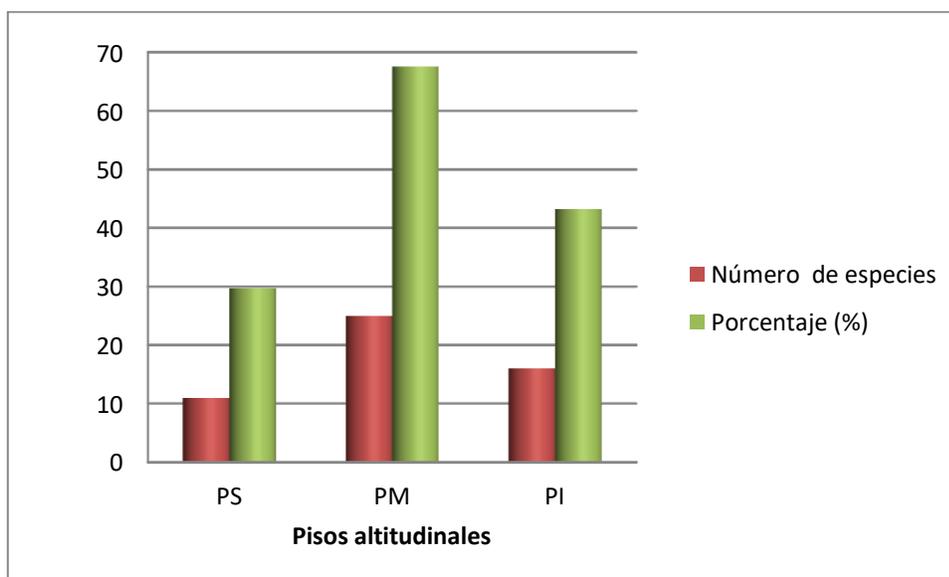


Figura 11. Proporción y abundancia de las especies encontradas en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Cuadro 10. Distribución del número de individuos por especie en los diferentes pisos altitudinales en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Especie	Estrato		
	Inferior	Medio	Superior
<i>Alnus acuminata</i>			14
<i>Ardisia nigropunctata</i>	1		
<i>Billia rosea</i>		3	
<i>Cecropia polyphlebia</i>		1	
<i>Chrysochlamys allenii</i>	1		
<i>Citharexylum caudatum</i>	2	7	2
<i>Clethra licanioides</i>	4	13	12
<i>Clibadium leiocarpum</i>		1	
<i>Cornutia pyramidata</i>		1	
<i>Critoniopsis triflosculosa</i>	1	2	
<i>Cupressus lusitanica</i>		2	
<i>Daphnopsis americana</i>		1	
<i>Dendropanax</i> sp.	2		
<i>Frangula discolor</i>		1	
<i>Frangula oreodendron</i>			2
<i>Guettarda crispiflora</i>			1
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>		4	16
<i>Inga oerstediana</i>			1
<i>Ladenbergia brenesii</i>		2	
<i>Morus insignis</i>		1	
<i>Myrsine coriacea</i>	2	6	11
<i>Nectandra cufodontisii</i>	1	1	
<i>Ocotea holdridgeana</i>	1	2	
<i>Ocotea meziana</i>	1		
<i>Oreopanax xalapensis</i>	2	4	3
<i>Palicourea afuste</i>	16	6	
<i>Prunus annularis</i>		6	13
<i>Saurauia montana</i>	4	1	
<i>Saurauia yasicae</i>		1	
<i>Solanum rovirosanum</i>	6		
<i>Symplocos</i> sp.		1	
<i>Trema micrantha</i>			5
<i>Trichilia havanensis</i>		1	
<i>Urera</i> sp.	2		
<i>Viburnum venustum</i>	1		

Especie	Estrato		
	Inferior	Medio	Superior
<i>Viburnum costaricanum</i>		3	
<i>Vismia baccifera</i>		1	
Total general	47	72	80

La mayor cantidad de especies encontradas se ubican en el estrato medio y la menor cantidad en el estrato superior (Figura 11), donde esta última situación podría atribuirse a la falta de microclimas que permitan el establecimiento y desarrollo de diferentes especies con requerimientos específicos (Louman, Juvenal y Jiménez 2001).

Sánchez, Rivas y Cadena (1996), expresa que las características del hábitat, así como la complejidad o desarrollo vertical del bosque y heterogeneidad o variedad horizontal del ambiente, pueden determinar la diversidad biológica de un lugar. En este caso, para el ecosistema de referencia se manifiesta que la especie dominante en el estrato inferior es *Palicourea adusta* con 16 individuos, en el estrato medio le corresponde a *Clethra licanioides* con 13 individuos y en el estrato superior a *Heliocarpus appendiculatus* con 16 individuos (Cuadro 10).

Quesada (2007), recalca que el bosque húmedo montano bajo y muy húmedo montano bajo, se pueden encontrar especies como *Alnus acuminata* (jaúl), *Cornus disciflora* (lloró), *Magnolia poasana* y el género *Quercus*, el cual puede abarcar diferentes tipos de especies, los cuales por lo general son de baja estatura.

Un estudio realizado por Kappelle y Omme (2000) en la zona de Savegre, la cual presenta similitud en cuanto al clima frío y húmedo, la temperatura y suelos ácidos con el pH entre 4,5 y 6,5, manifiesta en el pasado, la mayor parte del sitio estuvo por *Quercus costaricensis*, *Q. copeyensis* y *Q. seemannii*, y algunos géneros arborescentes de importancia son *Ardisia*, *Ilex*, *Magnolia*, *Myrsine*, *Nectandra*, *Ocotea*, *Oreopanax*, *Prumnopitys*, *Schefflera*, *Styrax*, *Symplocos*, *Vaccinium*, *Viburnum* y *Weinmannia*. Dichos autores, manifiestan que el bosque maduro montano bajo es denso, no alterado o poco intervenido, es dominado por especies

siempre verdes del género *Quercus* en el dosel superior, mientras que el subdosel se caracteriza por especies como *Ardisia* spp., *Dendropanax querceti*, distintas lauráceas (*Cinnamomum*, *Nectandra*, *Ocotea*, *Persea*), *Myrsine coriacea*, *Oreopanax xalapensis*, *Trichilia havanensis*, *Weinmannia pinnata*, entre otras y en el sotobosque se pueden encontrar arbustos como *Palicourea brenesii* y *Psychotria dichroa*.

Con base en esta referencia y el trabajo de campo efectuado, se determina que el ecosistema de referencia se asemeja a un bosque maduro, no obstante, este presenta rasgos importantes de intervención, prueba de ello es la ausencia de especies características del género *Quercus*, cuya especie se esperaría encontrar en el inventario realizado, además, la visualización de tocones residuales de gran dimensión en el sitio, supone la posible explotación de las especies de este género. Sin embargo, se registró la presencia de la especie *Quercus oocarpa* en La Finca La Lucha, lo que significa un gran aporte a la lista de especies disponibles a incluir en la propuesta de restauración.

Adicionalmente, se muestra la proporción de especies de acuerdo a su gremio ecológico, el cual fue asignado con base en la lista oficial de Sistema de Información de Recursos Forestales (SIREFOR), 2010 (Figura 12).

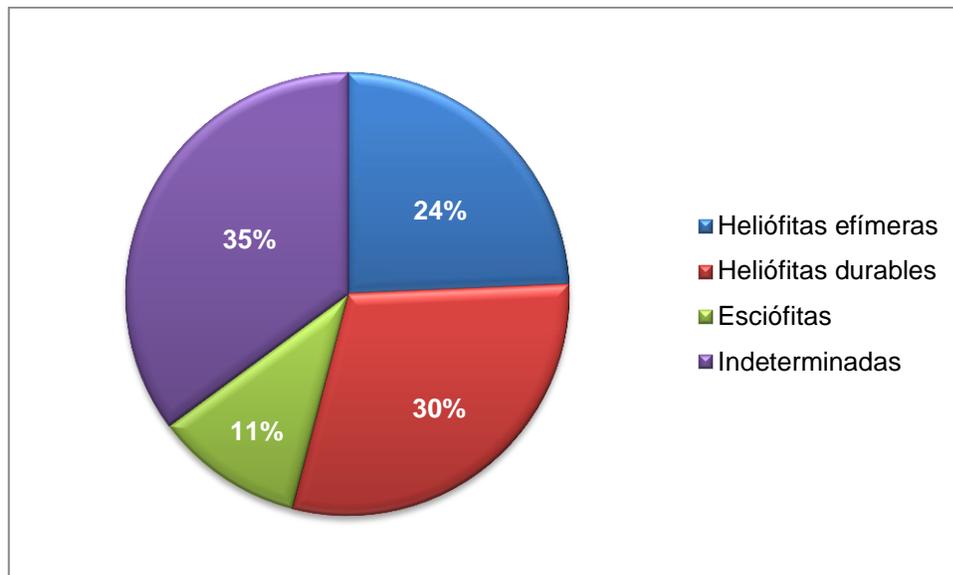


Figura 12. Proporción de gremios ecológicos de acuerdo con el número de especies encontradas en el ecosistema de referencia, Finca La Sinfónica, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Fuente: Datos de campo y lista oficial de SIREFOR, 2010.

El bosque del ecosistema de referencia presenta una importante proporción de especies clasificadas como indeterminadas (35% de las especies), ocasionando un vacío de información, lo cual limita en gran parte este análisis (Figura 12). Pese a esta situación, se continúa el análisis y se determina que la mayor cantidad de especies pertenecen al gremio ecológico heliófito, con un porcentaje de 54% en total, del cual un 24% corresponde al gremio heliófito efímero y el restante 30% al gremio heliófito durable.

Básicamente los gremios utilizan uno o varios recursos del medio ambiente de manera similar, en los cuales se agrupan especies que comparten dichos recursos. Sánchez, Islebe y Valdez-Hernández (2007), alegan que en los trópicos el comportamiento de las especies se encuentra en gran medida determinado por la luz, y por ello el concepto de tolerancia e intolerancia a la sombra se mantiene como criterio básico para agrupar a las especies y así ayudar a entender los procesos de sucesión y desarrollo del bosque.

En esa misma línea, Louman, Quirós y Nilsson (2001), manifiestan que estos grupos permiten, en cualquier bosque, reconocer y agrupar especies que poseen características biológicas y ecológicas similares. Asimismo, estos autores caracterizan dos grupos: los pioneros y los tolerantes a la sombra, donde el primer grupo se caracteriza por ser presentar especies pioneras efímeras y durables, siendo estas últimas las emergentes del bosque y las que sobreviven más que las primeras (pioneras). Adicionalmente, Lamprecht (1990), manifiesta que las especies heliófitas requieren de luz toda su vida mientras que las esciófitas se desarrollan en la sombra.

El análisis efectuado proporciona una guía natural del establecimiento de un ecosistema futuro, es decir, que contribuye de manera fundamental en cuanto a las especies y momentos a plantar en la restauración. Esta condición se traduce en la plantación y desarrollo de especies pertenecientes al grupo heliófito como el inicio del proceso de restauración, en las cuales podrían incluir ambos subgrupos, el heliófito efímero y el heliófito durable, o bien su inclusión podría efectuarse en fases o etapas graduales, con el fin de que estas especies aprovechen la disponibilidad de luz para su desarrollo que se encuentran en lotes sin vegetación, lo que a su vez desencadena la proporción de sombra y condiciones específicas que requieren las especies pertenecientes al gremio esciófito.

Se observa la misma situación presentada anteriormente, la cual corresponde a la dominancia del gremio heliófito en los tres estratos, específicamente del gremio heliófito durable (Figura 13). El grupo esciófito presenta su mayor cantidad de especies en el estrato medio, reflejando su crecimiento debajo del dosel, por lo que se puede decir que el bosque continúa en desarrollo. Asimismo, se muestra la cantidad de especies indeterminadas por estrato, donde la mayoría de estas especies se encuentran en el estrato medio y superior.

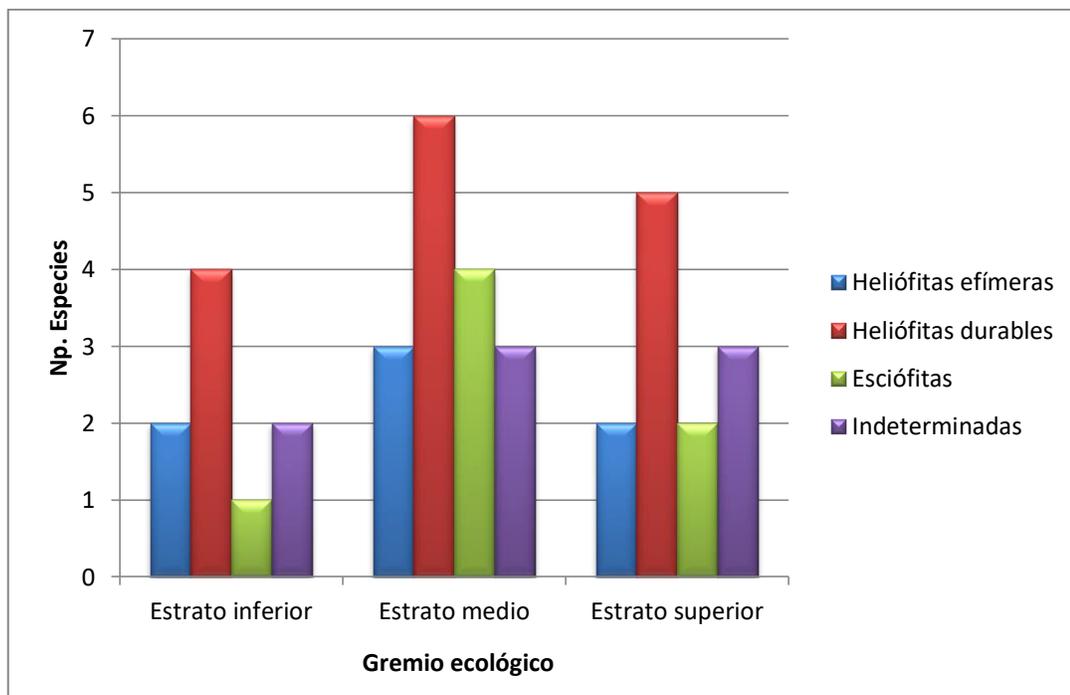


Figura 13. Distribución de gremios ecológicos en los diferentes estratos altitudinales encontradas en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

6. *Estructura horizontal*

Louman et al. (2001), definen estructura horizontal como el resultado de la respuesta de las plantas al ambiente, limitaciones y amenazas que presenta, además su determinación está basada en las características del suelo y del clima así como de características y estrategias de las especies y los efectos de disturbios sobre la dinámica del bosque.

Abundancia y frecuencia

Se muestra el comportamiento de las principales especies encontradas, evaluadas mediante los parámetros de abundancia y frecuencia, donde las especies con mayor abundancia, presentan mayor frecuencia (Cuadro 11). Lamprecht (1990), expresa que por lo general las especies más abundantes poseen también altos valores de

frecuencia, lo que equivale a decir que pertenecen al grupo de especies con distribución horizontal continua.

Cuadro 11. Abundancia y frecuencia para las nueve especies con los valores más altos en La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Especie	Abundancia		Frecuencia	
	Abs	Ab%	Abs	F%
<i>Clethra licanioides</i>	29	14,57	5	7,14
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	20	10,05	5	7,14
<i>Myrsine coriacea</i>	19	9,55	5	7,14
<i>Palicourea adusta</i>	22	11,06	4	5,71
<i>Alnus acuminata</i>	14	7,04	4	5,71
<i>Citharexylum caudatum</i>	11	5,53	4	5,71
<i>Oreopanax xalapensis</i>	9	4,52	4	5,71
<i>Prunus annularis</i>	19	9,55	3	4,29
<i>Solanum rovirosanum</i>	6	3,02	3	4,29
Subtotal 9 especies	149	74,87	37	52,86
Total 37 especies	199	100	74	100

De acuerdo al cuadro anterior, la especie con mayor abundancia (14,57%) y frecuencia es *Clethra licanioides* (7,14%), clasificándose en la familia taxonómica Clethraceae, de la cual se conoce poca información sobre la importancia económica de las especies de esta familia. Sin embargo, en las regiones templadas algunas especies se utilizan como ornamentales, además algunas especies juegan un papel importante en la restauración natural de sitios alterados (Zamora, 2006).

Heliocarpus appendiculatus, la segunda especie con mayor valor en abundancia (10,05%), pero de igual valor en frecuencia a *Clethra licanioides*, es caracterizada por Hernández (2016), por su corteza suave y floración atrayente por diversos insectos. Además, la UICN destaca usos agroforestales como protección de mantos acuíferos, recuperación de áreas degradadas y apoyo en la dieta de poblaciones de aves silvestres.

Especies como *Myrsine coriacea* y *Alnus acuminata*, han sido propuestas por Arboleda, Tombe, y Velasco, (2013) para usos como de sombra en potreros, los cuales permiten generar microclimas más estables, conservación y mejoramiento de las condiciones de fertilidad del suelo, embellecimiento del paisaje, conservación de fuentes hídricas, obtención de madera y generación de nichos ecológicos para el aumento de la biodiversidad.

Kappelle y Van Omme (2000), mencionan que las especies *Palicourea adusta*, *Myrsine coriacea* y *Prunus annularis* son especies pertenecientes al subdosel del bosque maduro montano alto, denso, no alterado o poco intervenido, sin embargo *Palicourea adusta* es una especie arborescente que también se encuentra en el bosque secundario montano alto. La especie *Oreopanax xalapensis* se caracteriza por estar presente en bosques nubosos enanos de 5 a 15 m de altura, además, como un árbol pionero en los bosques secundarios montano bajos (Kappelle y Van Omme 2000).

Clases de frecuencia

Las frecuencias proporcionan una noción sobre la homogeneidad que se presenta en un determinado bosque. Lamprecht (1990), manifiesta que valores altos en las clases de frecuencia IV–V y valores bajos en las clases de frecuencia I-II, indican la existencia de una composición florística homogénea, mientras altos valores en las clases de frecuencia I-II significan que existe una alta heterogeneidad dentro de la composición florística del bosque.

Sin embargo, Lamprecht (1990) resalta que los valores de las frecuencias depende del tamaño de las subparcelas, cuanto más grandes sean estas, mayor cantidad de especies podrán tener acceso a las altas clases de frecuencia. Por lo que solo son estrictamente comparables con diagramas de frecuencia obtenidos a partir de parcelas con igual tamaño de subparcelas.

Para el bosque presente en el ecosistema de referencia, se determinó a través de las clases de frecuencia que es un sitio heterogéneo, debido a que la mayoría de la especies (23) se concentran en la clase de frecuencia I (0-20%), posteriormente la segunda clase de frecuencia con mayor valor es la II (21-40%) con cinco especies, cuatro especies se agruparon en la clase IV (61-80%), 3 especies en la clase V (81-100%) y finalmente para la clase III (41-60%), se agruparon dos especies.

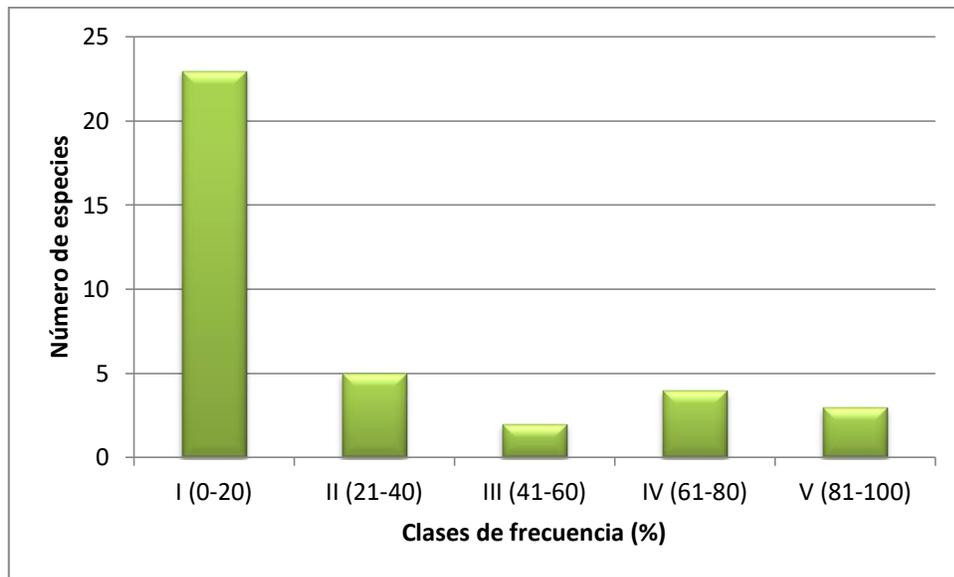


Figura 14. Clases de frecuencia para el ecosistema de referencia, Finca La Sinfónica, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Curva especie/área

De acuerdo con Lamprecht (1990), la curva de especies representa el mejor criterio para determinar el área florística mínima a muestrear. Se presentan los valores de área y número de especies acumuladas por parcelas en el bosque en estudio (Cuadro 12).

Cuadro 12. Número de especies acumuladas cada 10 m para la elaboración de la curva especie/área, para el bosque de La Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Área (m)	Especies parcela 1		Especies parcela 2		Especies parcela 3		Especies parcela 4		Especies parcela 5	
	Nuevas	Total								
10	11	11	5	5	6	6	5	5	3	3
20	8	19	2	7	3	9	1	6	5	8
30	2	21	0	7	3	12	2	8	4	12
40	0	21	1	8	0	12	4	12		
50			1	9	1	13	3	15		
60			0	9	0	13				
70			0	9						
80			1	10						
90			0	10						
100			0	10						

Los resultados obtenidos muestran que las parcelas 1, 2 y 3 llegan a estabilizarse en cuanto a especies nuevas, es decir, a partir de 40 m el incremento de nuevas especies no es significativo, caso contrario pasa en las parcelas 4 y 5, cuya curva no tiende a estabilizarse, sino que ésta incrementa (Figura 15). Lamprecht (1990), asocia la situación descrita anteriormente a la presencia de un bosque con otro tipo de composición florística, lo que significa que el área de muestreo no es homogénea en este sentido. Sin embargo, si la información generada se analiza de manera general, se podría establecer una relación entre la ubicación de las parcelas y la cantidad de especies encontradas. Esta condición se debe a que las primeras parcelas (1, 2, 3) se encuentran relativamente cercanas a la Carretera Interamericana (Ruta 2) que comunica San José con Paso Canoas, la cual se caracteriza por su abundante tránsito, resultando una vegetación con constante impacto antrópico, siendo esto una afectación negativa en cuanto a la generación de diferentes microclimas que permitan el establecimiento y desarrollo de distintas especies. Caso contrario, pasa en las parcelas 4 y 5, las cuales presentan una mayor distancia de la Ruta 2 y por ende, su estado de conservación se encuentra más

favorable que en el caso de las parcelas 1, 2 y 3, por lo que las especies pueden encontrar mayor cantidad de microclimas disponibles para su establecimiento.

Peña-Becerril, Monroy-Ata, Álvarez-Sánchez, y Orozco-Almanza (2005), recitan que la fragmentación de hábitats origina profundos cambios en los procesos ecológicos; uno de estos cambios es el efecto de borde, el cual consiste en la generación de microclimas variables y de condiciones edáficas dinámicas, expresándose esencialmente en la generación de micrositios favorables para el establecimiento vegetal, de especies persistentes (tolerantes a la sombra) cerca del borde y de especies pioneras más allá de la influencia directa del borde, asimismo afirman que es una herramienta que puede ser utilizada para la restauración de ecosistemas tropicales deteriorados.

Adicionalmente, Stevenson y Rodríguez (2008), expone que en las poblaciones de plantas, los patrones de crecimiento y reproducción se ven alterados por los agudos cambios en el microclima, condiciones del suelo y disponibilidad de agua, donde casos extremos de estas condiciones alteradas pueden repercutir en la mortalidad o la capacidad de regeneración, debido a que sobrepasan los umbrales de tolerancia fisiológica de las especies locales, donde inclusive, diferentes especies se ven favorecidas por las nuevas condiciones reduciendo el crecimiento, reproducción y supervivencia de otras especies, por lo que el daño y alta mortalidad que causan de manera sinérgica estos efectos se ve reflejado en los cambios en la estructura, composición y diversidad del bosque.

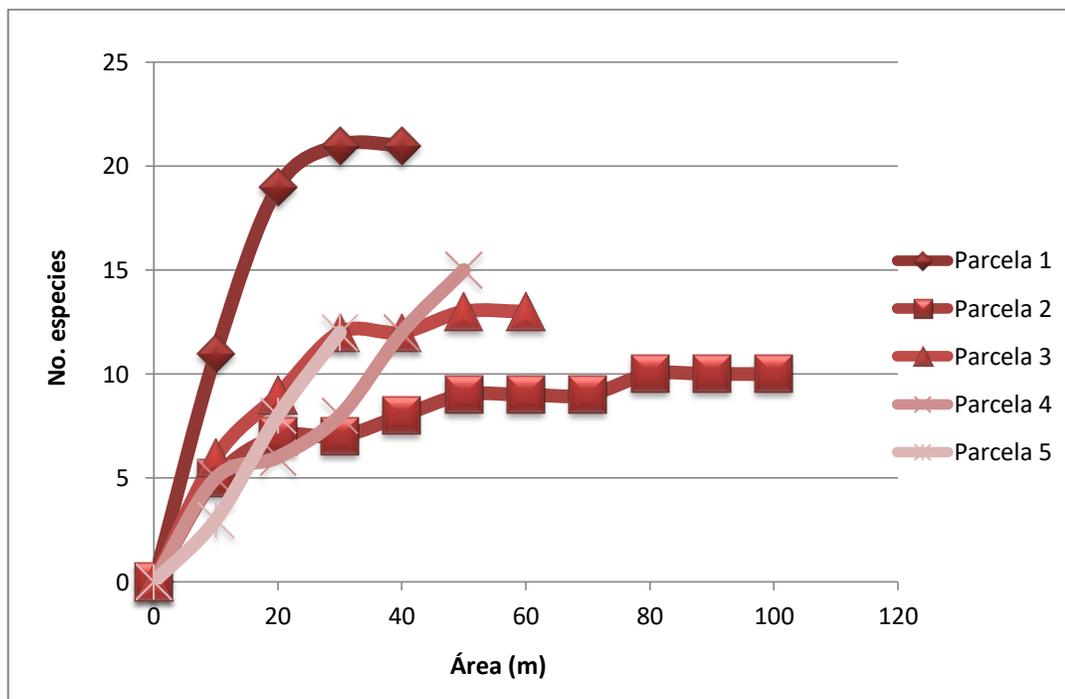


Figura 15. Curva especie/área para el bosque de la Finca La Sinfónica (ecosistema de referencia), San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Índices y coeficientes

El índice de Shannon es uno de los índices más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica, el cual refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Pla, 2006). El resultado obtenido para el bosque de referencia fue de 1,28, el cual refleja una baja diversidad. Maguarran (1988), indica que el índice de diversidad de Shannon– Wiener varía entre 1,5 y 3,5 y que rara vez alcanza valores de 4,5, por lo que valores cercanos a 3,5 reflejan sitios muy diversos, determinado así que este bosque es poco diverso de acuerdo a este criterio establecido.

En cuanto al índice de uniformidad de Shannon se obtuvo un valor de 0,81, según Del Río et al. (2003), su rango de interpretación va desde 0 a 1, donde valores cercanos a 1 reflejan que los individuos se reparten homogéneamente en distintos

grupos, por lo que se puede decir que el bosque en estudio presenta una distribución de relativamente homogénea sin embargo no es completamente equitativa.

Por otro lado, Quesada (1997) manifiesta que el índice de Simpson toma valores entre cero y uno, donde los valores cercanos a cero corresponden a sitios muy diversos. Para este caso, el valor obtenido fue de 0,07, el cual clasifica como poco diverso el bosque en estudio. En un estudio realizado Zamora (2010), obtuvo un índice de Simpson de 0,09, donde hace la relación de que por cada 100 especies que se tome al azar un par de individuos en nueve oportunidades corresponderán a la misma especie, por lo que también determinó su zona de estudio como poco diversa.

Asimismo, el coeficiente de mezcla, parámetro que refleja la intensidad de mezcla en los bosques, dio un valor de 0,19, lo cual indica que por cada 5 individuos muestreados aproximadamente, es posible encontrar una nueva especie, por lo que este bosque puede considerarse con una baja diversidad, ya que la relación ideal del coeficiente de mezcla es que por cada individuo muestreado se encuentre una especie nueva.

Finalmente y de manera global, se podría decir que el ecosistema de referencia estudiado, presenta condiciones de un bosque alterado pero en vías de recuperación por lo que una mayor profundización, seguimiento y actualización de la flora en dicho ecosistema es fundamental si se desea ampliar la cantidad de especies encontradas en el inventario, para futuros proyectos de restauración en la zona.

6. PLAN DE RESTAURACIÓN

El proyecto de restauración ecológica abarca un total de 15,43 hectáreas, las cuales fueron segmentadas en cuatro lotes para una mayor efectividad en el trabajo. El proceso de esta restauración se llevará a cabo en tres etapas o fases, las cuales serán explicadas a continuación.

Fase 1

Consiste en la generación de diferentes condiciones ecológicas, para suplir los requerimientos o necesidades de especies, a partir de la plantación de especies pioneras, las cuales se encuentran clasificadas en el grupo ecológico de heliófitas efímeras, que se caracterizan por su rápido crecimiento. Para esta fase se propone plantar el siguiente año (2019), en los meses de mayo y junio, los cuales corresponden a los meses donde inician las lluvias en la zona, cuyo propósito consiste en que las plántulas tengan disponibilidad de agua y puedan desarrollarse adecuadamente. Las especies a plantar en esta fase corresponden a las siguientes:

1. *Citharexylum caudatum*
2. *Clethra licanioides*
3. *Heliocarpus appendiculatus*
4. *Solanum rovirosanum*
5. *Trema micrantha*
6. *Myrsine coriacea*
7. *Alnus acuminata*
8. *Oreopanax xalapensis*
9. *Vismia baccifera*

10. *Cedrela tonduzii*

Fase 2

Se propone realizar la segunda plantación de la restauración ecológica una vez desarrollada la vegetación establecida en la fase 1, cuyo proceso o lapso de tiempo podría ser los tres años posteriores a esta, se estaría plantando en el año 2024. Las especies recomendadas son las pertenecientes al grupo ecológico de heliófitas durables, las cuales se caracterizan por un crecimiento intermedio, además estas especies terminan de acondicionar el hábitat para otras especies con requerimientos más sensibles, se proponen las siguientes especies:

1. *Tapirira mexicana*
2. *Ocotea meziana*
3. *Trichilia havanensis*
4. *Dendropanax globosus*
5. *Ficus pertusa*
6. *Viburnum venustum*
7. *Prunus annularis*

Fase 3

Finalmente, para esta fase se espera que ya exista una vegetación bastante desarrollada, producto de las siembras de las fases anteriores, por lo que se estaría plantando especies pertenecientes al grupo ecológico de esciófitas, en el año 2028. Se utilizarán las especies de *Quercus oocarpa* y *Sloanea ampla*.

Diseños de plantación

Tomando como referencia el análisis de topografía, suelos y vegetación del ecosistema de referencia, se plantean tres diseños de plantación para la restauración ecológica. Estos diseños tienen como finalidad mostrar diferentes patrones de plantación y a su vez, tratar de buscar un arreglo espacial de manera adecuada y que no se asemeje a una plantación forestal como tal, sino que busca el establecimiento y desarrollo óptimo de la vegetación natural de la zona con aras de recuperar la composición, estructura y función de un ecosistema natural. Asimismo, estos diferentes diseños fueron propuestos de tal manera que su aplicación en el campo sea práctica y efectiva. Se proponen tres métodos de plantación que consisten en radios, de manera libre y tresbolillo, los dos primeros presentan una forma circular con un área de 1962 m², cuyo argumento se basa en la combinación aleatoria de especies en cada círculo y espacios entre círculos, este último con el objetivo de dejar espacios libres para la llegada y establecimiento de especies por regeneración natural, lo cual incrementaría la diversidad de la restauración, además las complejas condiciones topográficas complican una utilización máxima del terreno. Dichos diseños se detallan a continuación:

1. Método radial y plantación libre

El diseño consiste en la plantación de las especies de la Fase 1 en forma radial, cuya cantidad de radios es de ocho en total, los cuales presentan longitud de 25 metros y cuyo espaciamiento es de 5 metros entre árboles, alternando las especies propuestas (Figura 16). Para las especies recomendadas en las Fases 2 y 3, la plantación se realiza de manera aleatoria o libre entre los radios establecidos en la Fase 1.

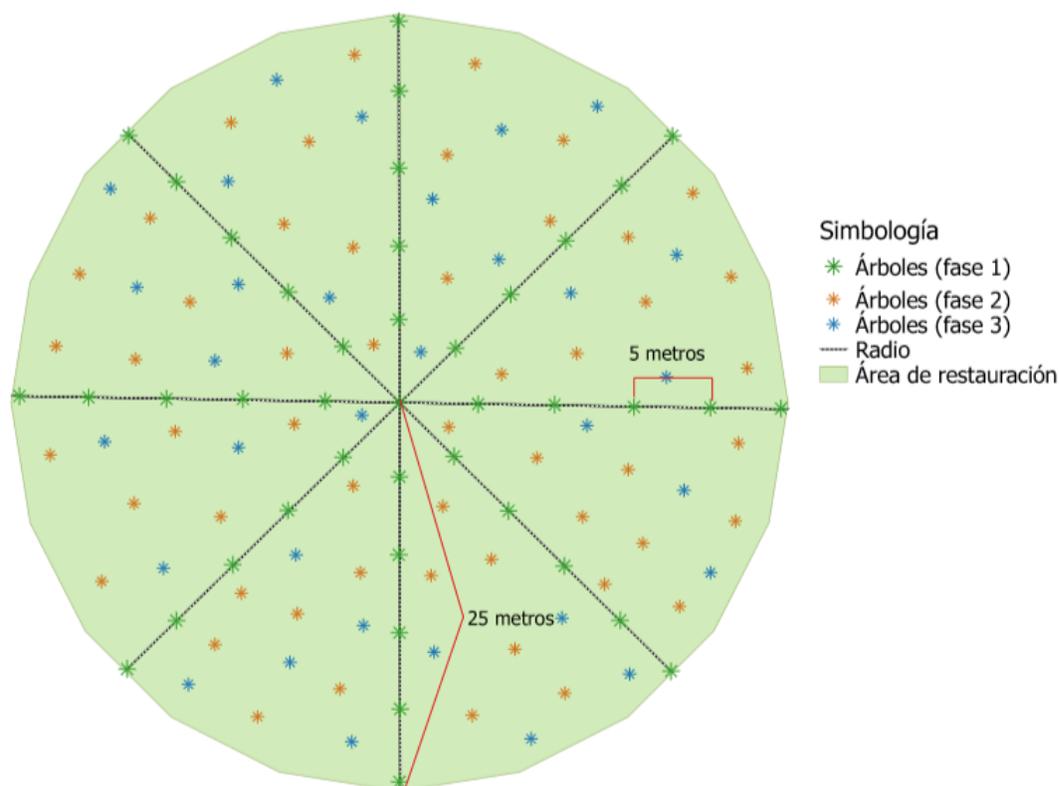


Figura 16. Croquis propuesto para el método radial y de plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.

Todas las fases de este diseño brindan espacio para el desarrollo de regeneración natural de la zona, tanto internamente como espacio generado entre un círculo y otro. Además presenta un distanciamiento práctico entre árboles en la primera fase y de manera libre en las restantes, de manera que su aplicación en el campo resulta práctica por lo que su implementación se recomienda para los lotes con pendientes muy pronunciadas.

2. Método radial, tresbolillo y plantación libre.

Este diseño también implementa el método radial, sin embargo la cantidad de radios cambia, estableciéndose 4 radios en la Fase 1, con un distanciamiento de 3 metros entre árboles. Por otra parte, el sistema de tresbolillo se plantea en la Fase 2, en los cuartos de áreas determinadas por el método radial, el

distanciamiento de plantación entre árboles es de 3 metros y entre hileras de 4 metros (Figura 17). Finalmente para la Fase 3, la plantación se lleva a cabo mediante la forma aleatoria o libre.

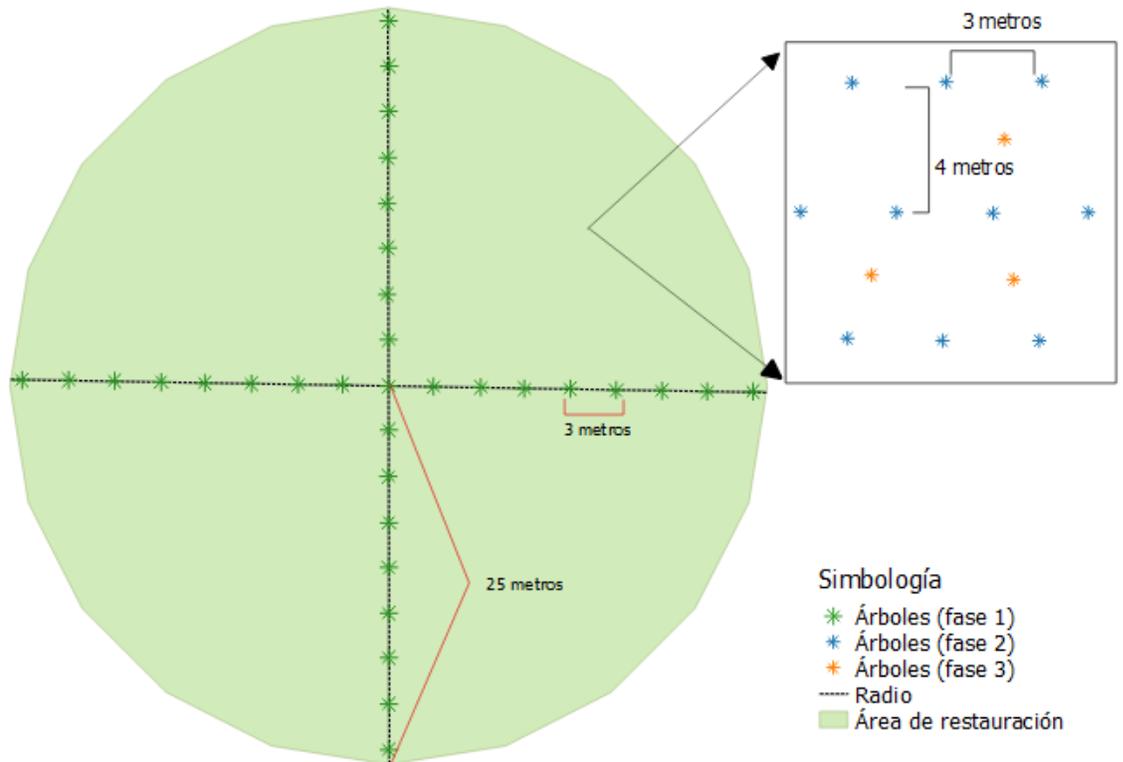


Figura 17. Croquis propuesto para el método radial, tresbolillo y de plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.

A diferencia del método anterior, este se conforma por una disminución del espacio entre árboles en la fase inicial y por la incorporación del método de tresbolillo. Con este método es posible un mayor aprovechamiento del terreno, por lo que el número de árboles a plantar cambia significativamente. No obstante, este método podría resultar complejo a la hora de implementarlo en el campo, por lo que su implementación se recomienda para lotes con pendientes moderadas o medias.

3. Método de tresbolillo y plantación libre.

Consiste en la plantación de las especies de la Fase 1 en forma de tresbolillo, con un distanciamiento de 3 metros entre árboles y 4 entre hileras, mientras que la plantación de las especies propuestas en las Fases 2 y 3, de manera libre o aleatoria (Figura 18).

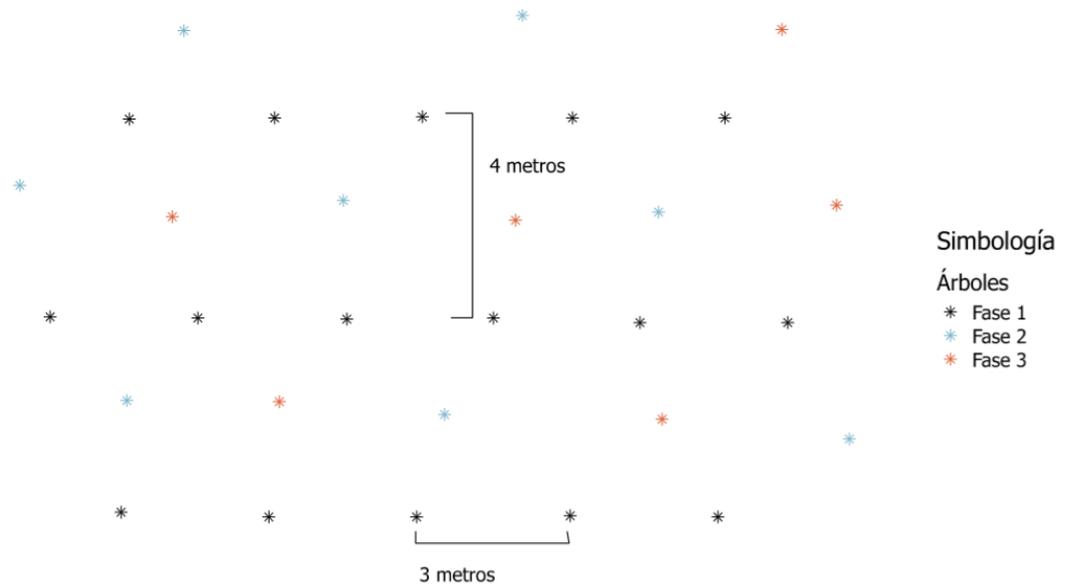


Figura 18. Croquis propuesto para el método de tresbolillo y plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.

En cuanto a este diseño, su primera fase está compuesta por el método de tresbolillo, por lo que la utilización del terreno es máxima y por ende, es el que presenta la mayor cantidad de árboles a plantar. Este método se recomienda para lotes con buena accesibilidad y buenas condiciones de topografía.

Pasos a seguir en el proceso de la restauración ecológica.

Constituyen todas las labores a realizar, antes, durante y después de la restauración, las cuales se detallan a continuación:

- *Preparación del terreno.*

Se debe hacer una limpieza previa del terreno o bien, realizar rodajeas en el área en la cual se va a plantar, así como remover escombros o desechos producto de los derrumbes ocasionados por la tormenta Nate.

Adicionalmente, se recomienda realizar un encalado en el hoyo de cada árbol con el fin de estabilizar el pH del suelo, ya que de acuerdo a los resultados del análisis de suelos obtenidos, éstos se clasifican como ácidos, por lo que se correría el riesgo de que el proceso de restauración se vea afectado negativamente. Molina (2014), plantea las siguientes especificaciones para la aplicación de enmiendas comunes (Cuadro 19).

Cuadro 13. Fuentes comunes de enmiendas.

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	Equivalente Químico %	Ton.ha ⁻¹ equivalente a 1 ton.ha ⁻¹ de CaCO ₃ puro
Cal calcítica	La mayoría es CaCO ₃ , fuente más común y accesible	75-100	1.3-1.0
Óxido de calcio	Cal viva (CaO), de rápida reacción neutralizante, para cultivos de ciclo corto, poco efecto residual, más caro que carbonatos, difícil de manipular (cáustico)	120-175	0.8-0.6
Hidróxido de calcio	Cal apagada (Ca(OH) ₂), de rápida acción, cultivos de ciclo corto, poco efecto residual, más caro	110-135	0.9-0.7
Dolomita	Carbonato de calcio y magnesio, contiene 30-50% MgCO ₃ , fuente de Mg, más caro que carbonatos	95->100	1.1-0.9
Magnesita	Carbonato de magnesio (MgCO ₃), contiene casi exclusivamente Mg, efecto neutralizante ligeramente superior al CaCO ₃ , importado de Guatemala	100-120	1.0-0.8
Óxido de magnesio	MgO, alto poder neutralizante, rápida acción, contiene casi exclusivamente Mg, excelente fuente de Mg	175-240	0.6-0.4

Fuente: Molina (2014).

Adicionalmente, la determinación de la cantidad encalado a necesitar se puede

calcular mediante la siguiente fórmula: $CaCO_3 = CaCO_3 = \frac{1,5 (AL-PRS)(CICE)}{100} * F$

Donde:

AL=Porcentaje de saturación de Al actual.

PRS=Porcentaje de saturación de Al deseado.

CICE= Capacidad de intercambio catiónico efectivo.

$$F = \frac{100}{PRNT}$$

Donde:

PRNT= Poder relativo de neutralización total.

- *Trazado, estacado, método y distancia de plantación.*

Las líneas y parches o núcleos de plantación se trazan y señalan con estacas, las cuales se deben marcar con pintura de color naranja o azul para facilitar su visualización y por ende, facilitar las labores de limpieza y ahoyado. Los métodos y distancias de plantación fueron explicados anteriormente, de acuerdo a cada fase de restauración.

- *Estimación del número de árboles a plantar.*

Se estimó una cantidad de círculos por lote, con la ayuda del programa de Qgis, de manera que la cantidad de árboles a plantar varía de acuerdo al método elegido, los cuales se detallan a continuación:

- a) *Método radial y plantación libre.*

El distanciamiento propuesto para este método es de 5 metros entre árboles con 8 radios de 25 metros de longitud, por lo que el total de árboles a plantar por círculo es de 40 para la primera fase. Posteriormente para la segunda fase, se plantea un total de 25 árboles y para la tercera, 12 árboles por círculo. A continuación se muestra un

resumen de la cantidad de árboles en cada fase por círculo, adicionando su respectiva mortalidad (Cuadro 14).

Cuadro 14. Número de individuos requeridos por círculo y por hectárea con el método radial y plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.

Fase	Árboles	Mortalidad (20%)	Total
1	40	8	48
2	30	6	36
3	12	2	14
Total			
Árb/círculo	82	16	98
Total			
Árb/ha			499

b) Método radial, tresbolillo y plantación libre

Para este método, el distanciamiento propuesto es de 3 metros entre árboles con 4 radios de 25 metros de longitud para la primera fase, siendo un total de 32 árboles. Luego, para la segunda fase se propone la plantación en tresbolillo con un distanciamiento de 3 metros entre árboles y 4 metros entre hileras, dando como resultado 133 árboles por círculo, que se distribuyen en 33 árboles por cuarto de área. Se muestra un resumen de la cantidad de árboles a plantar en cada fase por círculo, adicionando su respectiva mortalidad (Cuadro 15).

Cuadro 15. Número de individuos requeridos por círculo y por hectárea con el método radial, tresbolillo y plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.

Fase	Árboles	Mortalidad (20%)	Total
1	32	6	38
2	132	26	158
3	12	2	14
Total			
Árb/círculo	176	35	211
Total			
Árb/ha			1 075

c) Método de tresbolillo y plantación libre.

En este caso, el sistema de tresbolillo se implementaría en todo el terreno por lo que su totalidad se traduce en hectáreas. Este método cuenta con un distanciamiento de 3 metros entre árboles y 4 entre hileras, dando un total de 833 árboles por hectárea para la primera fase. En cuanto a las fases 2 y 3, se propone la plantación libre de 102 y 61 árboles por hectárea, respectivamente para cada fase. Se muestra un resumen de la cantidad de árboles en cada fase por hectárea, adicionando su respectiva mortalidad (Cuadro 16).

Cuadro 16. Número de individuos requeridos por hectárea con el método de tresbolillo y plantación libre del plan de restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.

Fase	Árboles	Mortalidad (20%)	Total
1	833	167	1000
2	102	20	122
3	61	12	73
Total			
Árb/hectárea	996	199	1196

- *Ahoyado y plantación.*

Se realizarán hoyos de dimensiones de 40 cm profundidad y 30 cm de diámetro. Para garantizar un buen desarrollo del material vegetal. Se recomienda utilizar tutores en la plantación, con el fin de garantizar un crecimiento vertical adecuado.

- *Mantenimiento.*

En caso de ser necesario, se involucran las labores de fertilización y control fitosanitario, las cuales aseguran el establecimiento definitivo de la vegetación. Se contempla un mantenimiento integral a los 60 días después de la plantación, mientras que para los casos de mortalidad del material vegetal se debe realizar re-plantación a los 30-60 días de la siembra.

Un aspecto importante de mencionar es el control de especies invasoras, cuyo control depende de factores como intensidad, especie y ubicación. No obstante, es

significativo tener métodos de control naturales, químicos o manuales, en el primer caso podría funcionar la disminución de recursos fundamentales para la especie invasora como lo es la luz, proporcionando sombra o bien, con control biológico de diferentes especies de fauna. El segundo método consiste en la aplicación de sustancias químicas en función del tipo de plaga y el tercer método se puede ejecutar mediante chapas o limpieza de la zona.

Cabe resaltar que es de suma importancia un mantenimiento constante en los primeros tres años de siembra, para garantizar el éxito de la restauración.

- *Fertilización*

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de suelos, se recomienda realizar una fertilización con el fin de fortalecer el desarrollo del material vegetal, la cual se recomienda al momento de la plantación. Para el método recomendado, por su facilidad, que se aplica en el fondo del hoyo y luego se revuelve completamente con la tierra, se recomienda utilizar 100 g/planta con el fertilizante NPK 10-30-10.

- *Monitoreo.*

El monitoreo iniciará con la actividad de inspección de la mortalidad de los árboles, específicamente a los 3 meses posteriores de la plantación. Sin embargo, es fundamental realizar monitoreos periódicamente con el fin de evaluar el grado de éxito de la restauración y de ser necesario, la aplicación oportuna de un manejo adaptativo para alcanzar la meta deseada. Adicionalmente se contempla la toma de fotos en cada actividad de monitoreo, además se plantean los siguientes indicadores de éxito para la restauración.

-Crecimiento de las plantas introducidas en cm o m.

-Supervivencia en % de las plantas introducidas.

-Estado fenológico de las plantas introducidas.

-Presencia/ausencia de plagas.

-Regeneración natural (presencia de plántulas de nuevas especies nativas e invasoras).

-Incremento del número de especies presentes con respecto a la lista florística inicial.

-Regreso de fauna mediante métodos cualitativos tales como cámaras trampas y observación directa.

-Estimación de la erosión mediante la fórmula $A = R * K * L * S * C * P$

Donde

A= Pérdida de Suelo Promedio (Ton/ha/año)

R = Índice de erosividad (MJ ha-1mm-1). Se encuentra calculado para varios pluviómetros del territorio nacional (Hoja intensidades de lluvia CR).

K = Erodabilidad del suelo

L = Efecto de la longitud de pendiente

S = Efecto de la gradiente de la pendiente

C = Cubierta Vegetal

P = Conservación de Suelos

Cronograma

Se detalla el cronograma de las actividades a realizar en el proceso de restauración ecológica, a partir de enero del año 2019, que corresponde a la época propuesta para iniciar la ejecución del plan de restauración (Cuadro 17).

Cuadro 17. Cronograma de actividades para la restauración ecológica en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica 2018.

Actividad / Meses	Año 2019											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Limpieza del terreno	X	X										
Encalado		X	X									
Ahoyado y trazado				X								
Plantación					X	X						
Mantenimiento/ Control fitosanitario									X			
Fertilización					X	X						
Re-plantación								X	X			
Monitoreo									X			X

Cabe resaltar que el cronograma propuesto es aplicable para todas las intervenciones o fases de la restauración ecológica.

Presupuesto

El presupuesto necesario para llevar a cabo las actividades a implementar, tales como la mano de obra requerida, el material vegetal, herramientas, insumos y demás gastos que se generan durante el proceso de restauración. El mismo se presenta de acuerdo al diseño de plantación propuesto (Cuadro 18).

Cuadro 18. Presupuesto para la restauración ecológica de acuerdo al diseño de plantación a implementar en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Rubro	Diseños de plantación		
	Radial y plantación libre	Radial, tresbolillo y plantación libre	Tresbolillo y plantación libre
Mano de obra (Limpieza y encalado, trazado y ahoyado, fertilización, plantación, control fitosanitario y profesional a cargo)	9 467 403	15 510 892	17 080 447
Insumos (Cal, fertilizantes, árboles y estacas)	5 187 760	11 085 680	19 116 884
Otros gastos (Transportes)	230 000	460 000	460 000
Sub total	14 885 163	27 056 572	36 657 331
Imprevistos (5%)	744 258	1 352 829	1 832 867
Total	15 629 421	28 409 401	38 490 197

Cabe resaltar que la cantidad de jornales laborales y el monto total de éste, se encuentra calculado para una cuadrilla de cuatro personas y un profesional en el tema a cargo. Asimismo el presupuesto del método 3 (tresbolillo y plantación libre) es total por hectárea mientras que los métodos 1 (radial y plantación libre) y 2 (radial, tresbolillo y plantación libre), se encuentran determinados por la cantidad de radios estimados en cada lote, los cuales son los siguientes:

Lotes 1: Un radio

Lote 2: 11 radios

Lote 3: 16 radios

Lote 4: 22 radios.

7. CONCLUSIONES

- Se concluye que el área afectada por la tormenta Nate necesita una intervención para su adecuada recuperación, siendo en este caso la elaboración de un plan de restauración ecológica una opción viable.
- Se determina que dentro de La Finca La Lucha no existen parches de bosques remanentes que sirvan como guía al plan de restauración, por lo que se definió La Finca La Sinfónica como el ecosistema de referencia, cuyo relicto de bosque se encuentra en conservación desde hace 30 años y es el más grande en la zona, convirtiéndose en una referencia fundamental.

8. RECOMENDACIONES

- Previo a la plantación, se recomienda realizar una limpieza del sitio a restaurar (remoción de escombros y control de maleza), así como la aplicación de alguna enmienda con el fin de disminuir la acidez en el suelo.
- Se recomienda utilizar tutores en la plantación, con el fin de garantizar un crecimiento vertical adecuado.
- Se propone implementar el diseño de plantación del método radial y plantación libre para los sitios con altas pendientes, mientras que los diseños que incluyen tresbolillo, para sitios con pendientes moderadas.
- Se aconseja que el material vegetal a plantar tenga una procedencia mínima de 30 árboles diferentes, además que dicho material sea de zonas aledañas al sitio a restaurar.
- Dos meses posteriores a la plantación, se sugiere realizar una aplicación de fertilizante, cuyo propósito es fortalecer el desarrollo del material vegetal.
- Se aconseja un constante monitoreo durante todo el proceso de la restauración ecológica, para garantizar su éxito.

9. REFERENCIAS

- Acosta, L. (2012). *Análisis silvigénico de los bosques húmedos tropicales del Parque Nacional La Cangreja, Pacífico Central de Costa Rica* (Tesis de licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Alvis, J. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del Municipio de Popayán. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, (7), 117. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a13.pdf>
- Arboleda, D., Tombe, A., y Velasco, S. M. (2013). Propuesta para el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas con potencial forrajero: en sistemas de producción ganadera del trópico alto colombiano. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 11(1), 154-163.
- Área de Conservación Guanacaste. (2014). Área de Conservación Guanacaste Costa Rica, párr. 1-8. Recuperado de <https://www.acguanacaste.ac.cr/biodesarrollo/programa-de-restauracion-y-silvicultura>.
- Baca, M. (2009). *Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de pino-encino (Tesis de maestría)*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Barrientos, Z. y Monge, J. (2010). Restauración ecológica en la meseta central de Costa Rica. *Biocenosis*, 23(2), 22-24. Recuperado de <http://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/biocenosis/article/view/1240/1307>.
- Bascope, S. F., y Jorgensen, P. (2005). Caracterización de un bosque montano húmedo: Yungas, La Paz. *Ecología en Bolivia*, 40(3), 365-379.
- Bertsch, F. y Méndez, J. (2012). *El uso de bases de datos en el estudio de la fertilidad de los suelos agrícolas de Costa Rica: Estado actual y principales*

cambios en el tiempo. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B87AB673F79296C705257B5D006F25FD/\\$FILE/Art%207.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B87AB673F79296C705257B5D006F25FD/$FILE/Art%207.pdf)

Bradshaw, R. (2004). What is a Natural Forest?. En J. Stanturf. y P. Madsen (Eds.), *Restoration of boreal and temperate forests*. CRC Press, pp. 15–30.

Castillo, R. (2009). La hipótesis en investigación. p. 8. Recuperado de <http://www.eumed.net/rev/cccss/04/rcb2.pdf>.

CDB (Convention on Biological Diversity). (2010). Strategic plan for biodiversity 2011 – 2020 and the Aichi targets. p 1. Recuperado de https://cmsdata.iucn.org/downloads/aichi_targets_brief_spanish.pdf.

Chaves, E., y Fonseca, W. (1991). *Ciprés: Cupressus lusitanica Mill.: especie de árbol de uso múltiple en América Central* (Vol. 7). Catie.

Christensen, N. L., Bartuska, A. M., Brown, J. H., Carpenter, S., D'Antonio, C., Francis, R., y Peterson, C. H. (1996). The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological applications*, 6(3), 665-691. doi.org/10.2307/2269460.

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias de Emergencias (2017). *Afectaciones por lluvias intensas asociadas a la depresión tropical No.26 y tormenta tropical Nate*. p. 1-2. Recuperado de http://presidencia.go.cr/wp-content/uploads/2017/10/INFORME-GENERAL-TORMENTA-TROPICAL-NATE-5.OCT_2017.pdf.

Del Río, M., Montes, F., Cañellas, I., y Montero, G. (2003). Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For*, 12(1), 159-176.

- Dos Santos, J. (2011). Interdependencia entre la restauración ecológica y la conservación natural. *USBMed*. p. 27. Recuperado de <http://web.usbmed.edu.co/usbmed/fing/v2n1/v2n1a5.pdf>.
- Espinoza, L., Slaton, N., y Mozaffari, M. (s.f.). *Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos*. Recuperado de <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). La fauna silvestre en un clima cambiante. pp. 33-47. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/017/i2498s/i2498s00.htm>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). Global forest resources assessment 2015. pp. 9-14. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>.
- Forcella, F., Webster, T y Cardina, J. (2004). Protocolos para la determinación de bancos de semillas de malezas en los agrosistemas. En R. Labrada (Ed), *Manejo de malezas para países en desarrollo Addendum I*. párr. 11-24. Roma.
- Fundación Natura Colombia. (2016). La restauración ecológica, una estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático. [Mensaje en un blog], párr. 5-6. Recuperado de <https://es.linkedin.com/pulse/la-restauraci%C3%B3n-ecol%C3%B3gica-una-estrategia-de-y-al-cambio-colombia>.
- Gadow, K. V., Sánchez, O. S., y Álvarez, J. G. (2007). Estructura y crecimiento del bosque. Universidad de Göttingen, Alemania. Recuperado de http://www.iww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura_y_crecimiento_del_bosque.pdf
- Gálvez, J. (2002). La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones. p. 4. Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/SERIETECNINCA/8.pdf>.

- Garson, J. (2014). What is the value of historical fidelity in restoration?. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*. 45, 97-100. [_](#)
- Graesser, J., Aide, T. M., Grau, H. R., y Ramankutty, N. (2015). Cropland/pastureland dynamics and the slowdown of deforestation in Latin America. *Environmental Research Letters*, 10(3), 34017-34026. doi.org/10.1088/1748-9326/10/3/034017.
- Grau, H. R., & Aide, M. (2008). Globalization and land-use transitions in Latin America. *Ecology and Society*, 13(2), 16. doi: <https://doi.org/10.5751/ES-02559-130216>.
- Grupo de Restauración Ecológica (GREUNAL). 2012. Guías Técnicas para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas de Colombia. (pp. 9). Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/plan_nacional_restauracion/Anexo_8_Guias_Tecnicas_Restauracion_Ecologica_2.pdf.
- Grupo de Restauración Ecológica (GREUNAL). (2007). Guía metodológica para la Restauración Ecológica del bosque altoandino. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (s.f.) El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC: ¿Qué implica para Latinoamérica?. (pp. 2). Recuperado de <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>.
- Hernández, J. (2016). Área de Conservación Guanacaste Costa Rica, párr. 1. Recuperado de <https://www.acguanacaste.ac.cr/paginas-de-especies/plantas/107-malvaceae/809-i-heliocarpus-appendiculatus-i-malvaceae>
- Hernández, A. J., Urcelai, A., y Pastor, J. (2002). Evaluación de la resiliencia en ecosistemas terrestres degradados encaminada a la restauración

ecológica. *Actas de la II Reunión Española de Ciencia de Sistemas*. (párr. 17). Recuperado de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/53881/1/ciudadysocied2002847.pdf>.

Hernández, Z. 1999. *Cronosecuencia del bosque seco tropical en el Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Costa Rica (Tesis de Bachillerato)*. Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago.

Holdridge, L. R. 1967. *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: *Ecología Basada en Zonas de Vida*, 1ª. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).

Holling, C. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/2096802>.

Instituto Forestal. (1978). *Manual de forestación: técnicas para el establecimiento de plantaciones forestales en Aysén*. Recuperado de <http://biblioteca.infor.cl/DataFiles/11681.pdf>.

Kappelle, M., y Van Omme, L. (2000). Lista de la flora vascular de cuenca superior del Rio Savegre, San Gerardo de Dota, Costa Rica. *Acta botánica Mexicana*, 51, 1-38. doi: 10.21829/abm51.2000.848

Karr, J., y Dudley, D. (1981). Ecological perspective on water quality goals. *Environmental management*, 5(1), 55-68. doi.org/10.1007/BF01866609.

Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Trad. A Carrillo. Alemania, Eschborn: GTZ.

- Lhumeau, A. y Cordero, D. (2012). Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático. UICN, Quito, Ecuador. (pp. 1). Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2012-004.pdf>.
- Louman, B., Quirós, D., y Nilsson, M. (2001). Bases ecológicas. En Louman, B., Juvenal, V., y Jiménez, W. (Ed). *Silvicultura de bosques latifoliados tropicales con énfasis en América Central* (pp. 57/62). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Madrigal, T. (1997). Fenología y ecofisiología del *Quercus oocarpa* (Fagaceae), Cartago, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44(3), 117-123.
- MaGuarran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press.
- Manzanero, A. (1999). *Evaluación de la estructura y composición florística de la sucesión secundaria en áreas disturbadas, bosque húmedo subtropical en la concesión forestal comunitaria de Carmelita, San Andrés, Petén* (Doctoral dissertation, Tesis de Licenciatura). Petén, GT. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Melo, O. y Vargas, R. (2003). *Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/11436235/Evaluacion-Ecologica-y-Silvicultural-de-Ecosistemas-Boscosos>
- Méndez, M., Martínez, C., Ceccon, E. y Guariguata, M. (2017). Planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: Avances y omisiones. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 1-30. doi.org/10.15359/rca.51-2.1.
- Molina, E. (2002). *Análisis de suelos y su interpretación*. Recuperado de <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>

- Molina, E. (2014). *Nota técnica de acidez de suelos y uso de enmiendas*. Recuperado de http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Nota%20t%C3%A9cnica%201-2014_Acidez%20de%20suelos%20y%20uso%20de%20enmiendas.pdf
- Navarro, S. (2008). *Topografía II*. Recuperado de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/apuntes-topografia-ii.pdf>
- Oliva, P. (2009). *Determinación de la acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^+$) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua* (Tesis de licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Tegucigalpa, Honduras.
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (pp. 3). Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- Ortiz, E. (2014). Atlas Digital de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Parrish, J., Braun, D., y Unnasch R. (2003). Are We Conserving What We Say We Are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. *BioScience*, 53(9), 851–860. [doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0851:AWCWW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0851:AWCWW]2.0.CO;2).
- Peña-Becerril, J. C., Monroy-Ata, A., Álvarez-Sánchez, F. J., & Orozco-Almanza, M. S. (2005). Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 8(2), 91-98.
- Pérez, D. (2005). La influencia de los aspectos sociales sobre la alteración ambiental y la restauración ecológica. En O. Sánchez., E. Peters., R. Márquez., E. Vega., G. Portales., M. Valdez., y D. Azuara. (Eds). *Temas sobre restauración* (pp. 82). México: Instituto Nacional de Ecología.

- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2012). Integración del cambio climático en los procesos nacionales de desarrollo y en la programación de países de las Naciones Unidas. (pp. 5). Recuperado de <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/Environment%20and%20Energy/Climate%20Change/Capacity%20Development/PNUD-Gu%C3%ADaDaCambioClim%C3%A1ticoES-Web.pdf>.
- Promis, A., Caldentey, J., e Ibarra, M. (2010). Microclima en el interior de un bosque de *Nothofagus pumilio* y el efecto de una corta de regeneración. *Bosque (Valdivia)*, 31(2), 129-139. doi.org/10.4067/S0717-92002010000200006.
- Quesada, R. (1997). Determinación de índices de diversidad, homogeneidad, coeficiente de mezcla y riqueza de bosques húmedos tropicales. Material mimeografiado. 8 p.
- Quesada, R. (2007). Los Bosques de Costa Rica. *IX Congreso Nacional de Ciencias*. Simposio o conferencia llevado a cabo en el congreso. CIENTEC, Cartago.
- Ramírez, N. (2015). Propuesta de restauración ecológica del área de protección de la nueva sede del Centro Nacional de Control de Energía (CENCE), San Miguel de Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Rodríguez, N. y Vargas, O. (2007). Especies leñosas nativas claves para la restauración ecológica del embalse de Chisacá, basados en rasgos importantes de su historia de vida. En O. Vargas. (Ed.), *Restauración ecológica del bosque altoandino. Estudios Diagnósticos y experimentales en los alrededores del embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.)* (pp. 181-198). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- Rodríguez, M. y Mance, H. (2009). Cambio climático: lo que está en juego. Foro Nacional Ambiental. (pp. 10). Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/07216.pdf>.
- Ruiz, B. I. (2002). *Manual de reforestación para América Tropical*. Recuperado de https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/iitf_gtr_18_2002.pdf
- Salazar, R., Soihet, C. y Méndez, J. M. (2000). Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Sánchez, O., Islebe, G., y Valdez Hernández, M. (2007). Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana*, 9 (2), 17- 26.
- Sánchez, O., Peters, E., Márquez-Huitzil, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M. y Azuara, D. (2005). *Temas sobre restauración ecológica*. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=7oZix0puXbgC&oi=fnd&pg=PA7&dq=Temas+sobre+restauraci%C3%B3n+ecol%C3%B3gica&ots=ZRb5v-RxUE&sig=AXqIfahTAKL8pWEISEKJu_KSDqM#v=onepage&q=Temas%20sobre%20restauraci%C3%B3n%20ecol%C3%B3gica&f=false
- Sánchez-Palomino, P., del Pilar Rivas Pava, M., y Cadena, A. (1996). Diversidad biológica de una comunidad de quirópteros y su relación con la estructura del hábitat de bosque de galería, Serranía de la Macarena, Colombia. *Caldasia*, 343-353.
- Schweizer, S. (2011). *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad*. Recuperado de <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/08/00428-muestreoyanalisdesuelos.pdf>

- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. (pp. 5). www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Soto, F. (2017). Pautas de política para la restauración ecológica en un ambiente de clima cambiante. (pp. 12). Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/13263.pdf>.
- Stevenson, P. R., y Rodríguez, M. E. (2008). Determinantes de la composición florística y efecto de borde en un fragmento de bosque en el Guaviare, Amazonía colombiana. *Colombia forestal*, 11, 5-17.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2017). El desafío de Bonn: Catalizando Liderazgo en América Latina. (pp. 1). Recuperado de https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/20170222_iucn-forest-brief-no-14_20x20_final_es_print_8.pdf.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (en línea). Consultado el 25 setiembre 2018. Disponible en https://www.especiesrestauracion-uicn.org/data_especie.php?sp_name=Helicarpus%20appendiculatus
- Valladares, F., Balaguer, L., Mola, I., Escudero, A., y Alfaya, V. (2011). Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas. Fundación Biodiversidad. Madrid, España.
- Valerio, J. y Salas, C. (1997). *Manual Técnico Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales*. Recuperado de <http://www.ambienteforestalnoa.org.ar/userfiles/biblioteca/descarga/SilviculturaBosquesTropical.pdf>

- Vargas, L. (2012). *Análisis de una cronosecuencia de bosques tropicales del Corredor Biológico de Osa, Costa Rica (Tesis de licenciatura)*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Vargas, O. (2007). Los pasos fundamentales en la Restauración Ecológica. En Grupo de Restauración Ecológica (GREUNAL). (Eds). Guía metodológica para la Restauración Ecológica del bosque altoandino. (pp. 18). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 222-243. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3190/319028008017.pdf>.
- Vargas, O., Díaz, A., Trujillo, L., Velasco, P., Díaz, R., León, O., y Montenegro, A. (2007). Barreras para la restauración ecológica. *Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino*. (pp. 58-75). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260639993_Barreras_para_la_restauracion_ecologica.
- Villarroel, J. (1988). Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/253867585/Manual-Practico-Para-La-Interpretacion-de-Analisis-de-Suelos-en-Laboratorio>.
- World Resources Institute. (2014). Initiative 20x20. (párr. 2-4). Recuperado de <http://www.wri.org/our-work/project/initiative-20x20/about-initiative-20x20#project-tabs>.
- Zamora, M. (2010). *Caracterización de la flora y estructura de un bosque transicional húmedo a seco, Miramar, Puntarenas, Costa Rica (Tesis de licenciatura)*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Zamora, N. (2006). Clethraceae. Flora Digital de la Selva. Recuperado de <https://sura.ots.ac.cr/local/florula4/families/CLETHRACEAE.pdf>

Zamora, R. (2002). La restauración ecológica: una asignatura pendiente. *Ecosistemas*, 11(1), 19-22. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/9832>.

Zorilla, M. (2005). La influencia de los aspectos sociales sobre la alteración ambiental y la restauración ecológica. En O. Sánchez., E. Peters., R. Márquez., E. Vega., G. Portales., M. Valdez., y D. Azuara. (Eds). *Temas sobre restauración* (pp. 31-33). México: Instituto Nacional de Ecología.

10. ANEXOS

Anexo 1. Resultados del análisis de suelos en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Solución Extractora: KCI-Olsen Modificado		pH		cmol(+)/L			%			mg/L			mS/cm	
ID USUARIO	ID LAB	H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	CE
		5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5	1,5
La Lucha S.A. Lote 4 # 1 0,2m La Lucha S.A. (Sin identificación)	S-18-07552	6,0	0,21	22,72	3,22	0,51	26,66	0,8	2	1,7	2	36	84	0,3
La Lucha S.A. Lote 1 # 5 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07553	5,8	0,13	8,53	2,81	0,72	12,19	1	3	1,6	1	58	59	0,1
La Lucha S.A. Lote 2 # 4 0,4m La Lucha S.A.	S-18-07554	5,3	0,23	8,76	2,93	0,84	12,76	2	3	2,9	3	156	100	0,3
La Lucha S.A. Lote 4 # 9 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07555	5,0	2,37	3,03	1,59	0,59	7,58	31	1	2,2	2	109	81	0,1
La Lucha S.A. Lote 2 # 7 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07556	5,4	0,31	12,22	2,48	0,72	15,73	2	3	2,4	3	130	54	0,2
La Lucha S.A. Lote 3 # 6 0,4m La Lucha S.A.	S-18-07557	5,0	1,96	4,95	1,66	0,63	9,20	21	2	3,1	2	272	76	0,1
La Lucha S.A. Lote 2 # 5 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07558	5,0	2,81	1,82	1,07	0,53	6,23	45	1	1,2	2	73	92	0,1
La Lucha S.A. Lote 2 # 8 0,4m La Lucha S.A.	S-18-07559	4,5	7,63	1,06	0,33	0,32	9,34	82	1	1,3	2	358	16	0,1
La Lucha S.A. Lote 2 # 3 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07560	4,8	3,37	2,96	1,11	0,46	7,90	43	1	2,0	2	319	61	0,1
La Lucha S.A. Lote 4 # 3 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07561	5,0	1,72	3,79	1,69	0,61	7,81	22	2	1,8	2	151	102	0,1
La Lucha S.A. Lote 1 # 4 0,4m La Lucha S.A.	S-18-07562	5,4	0,36	19,78	3,25	0,65	24,04	2	2	6,3	2	85	56	0,2
La Lucha S.A. Lote 4 # 11 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07563	4,9	1,91	5,25	2,86	0,54	10,56	18	1	1,6	2	139	80	0,1
La Lucha S.A. Lote 3 # 8 0,4m La Lucha S.A. Lote 4 # 12 0,4m La Lucha S.A.	S-18-07564	6,5	0,15	20,26	2,96	0,80	24,17	0,6	6	3,6	1	22	36	0,3
La Lucha S.A. Lote 4 # 6 0,4m La Lucha S.A.	S-18-07565	5,6	0,14	8,98	2,38	0,75	12,25	1	3	2,0	1	70	57	0,1
La Lucha S.A. Lote 4 # 7 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07566	6,1	0,15	15,71	3,10	0,91	19,87	0,8	4	3,5	1	52	41	0,2
La Lucha S.A. Lote 2 # 1 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07537	4,8	4,41	9,24	1,96	0,60	16,21	27	3	2,2	5	242	88	0,1
La Lucha S.A. Lote 4 # 5 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07538	4,5	5,36	3,32	0,55	0,29	9,52	56	7	1,8	2	509	33	0,1
La Lucha S.A. Lote 3 # 1 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07539	5,9	0,18	10,61	1,97	0,64	13,40	1	5	2,5	2	132	50	0,2
La Lucha S.A. Lote 3 # 7 0,2m La Lucha S.A.	S-18-07540	5,2	0,63	10,75	1,79	0,58	13,75	5	4	3,1	2	142	73	0,2
La Lucha S.A. Lote 4 # 4 0,4m	S-18-07541	5,8	0,20	28,20	6,32	0,66	35,38	0,6	2	8,2	5	36	70	0,3
	S-18-07542	6,1	0,19	11,61	2,78	0,81	15,39	1	6	3,9	2	50	70	0,2
	S-18-07543	5,0	2,72	18,04	3,78	0,70	25,24	11	3	5,6	4	154	71	0,2

Solución Extractora: KCI-Olsen Modificado		pH		cmol(+)/L			%			mg/L				mS/cm
		H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	CE
La Lucha S.A.														
Lote 2 # 6 0,4m	S-18-07544	4,6	5,36	2,24	0,55	0,40	8,55	63	3	3,2	2	425	27	0,1
La Lucha S.A.														
Lote 3 # 4 0,4m	S-18-07545	5,0	1,41	22,78	6,33	0,60	31,12	5	2	4,7	9	65	80	0,2
La Lucha S.A.														
Lote 1 # 2 0,4m	S-18-07546	4,7	4,01	3,69	1,72	0,52	9,94	40	2	2,2	3	236	65	0,1
La Lucha S.A.														
Lote 1 # 3 0,2m	S-18-07547	5,2	1,05	6,92	2,72	0,62	11,31	9	2	2,7	3	174	91	0,2
La Lucha S.A.														
Lote 1 # 1 0,2m	S-18-07548	4,9	2,02	6,07	2,28	0,56	10,93	19	2	2,6	2	217	56	0,2
La Lucha S.A.														
Lote 2 # 2 0,4m	S-18-07549	5,3	0,49	7,28	1,69	0,59	10,05	5	2	2,2	2	118	51	0,1
La Lucha S.A.														
Lote 1 # 6 0,4m	S-18-07550	5,0	1,63	5,36	2,41	0,63	10,03	16	2	1,7	3	176	148	0,1
La Lucha S.A.														
Lote 3 # 5 0,2m	S-18-07551	4,9	2,20	2,82	1,18	0,61	6,81	32	2	1,8	2	101	131	0,1
La Lucha S.A.														
Lote 4 # 10 0,4m	S-18-07567	5,4	0,23	9,72	2,18	0,66	12,79	2	2	2,2	7	122	54	0,1
La Lucha S.A.														
Lote 4 # 8 0,4m	S-18-07568	4,5	7,03	2,02	0,43	0,28	9,76	72	4	1,3	2	556	27	0,1
La Lucha S.A.														
Lote 4 # 2 0,4m	S-18-07569	5,6	0,34	17,23	3,23	0,39	21,19	2	1	1,1	4	95	97	0,2
La Lucha S.A.														
Lote 3 # 3 0,2m	S-18-07570	6,3	0,15	13,54	3,19	0,65	17,53	0,9	4	3,2	1	30	56	0,2

Anexo 2. Especies encontradas en las 5 parcelas de muestreos establecidas en el ecosistema de referencia, Finca La Sinfónica, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

No. Transepto	No. Parcela	No. Árbol	Familia	N. Científico	N. Común	Alto (>15)	Medio (15-5 m)	Bajo (<5 m)	Grupo ecológico
1	1	11	Clusiaceae	<i>Chrysochlamys allenii</i>				X	I
1	1	4	Clethraceae	<i>Clethra licaniooides</i>	Nance Macho	X			HD
1	1	5	Asteraceae	<i>Critoniopsis triflosculosa</i>	Tuete			X	I
1	1	8	Rubiaceae	<i>Guettarda crispiflora</i>		X			I
1	1	6	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
1	1	9	Rubiaceae	<i>Ladenbergia brenesii</i>			X		I
1	1	2	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
1	1	10	Actinidiaceae	<i>Saurauia montana</i>	Moquillo			X	HE
1	1	1	Solanaceae	<i>Solanum rovirosanum</i>	Moco Capulín blanco			X	HE
1	1	3	Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>		X			HE
1	1	7	Adoxaceae	<i>Viburnum costaricanum</i>			X		I
1	2	11	Sapindaceae	<i>Billia rosea</i>	Cocora, Cucaracho		X		I
1	2	12	Sapindaceae	<i>Billia rosea</i>	Cocora, Cucaracho		X		I
1	2	19	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama Nance		X		I
1	2	5	Clethraceae	<i>Clethra licaniooides</i>	Macho Nance		X		HD
1	2	6	Clethraceae	<i>Clethra licaniooides</i>	Macho Nance		X		HD
1	2	7	Clethraceae	<i>Clethra licaniooides</i>	Macho Nance			X	HD
1	2	20	Clethraceae	<i>Clethra licaniooides</i>	Macho		X		HD
1	2	15	Araliaceae	<i>Dendropanax sp.</i>				X	HD
1	2	18	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío		X		HE
1	2	14	Moraceae	<i>Morus insignis</i>			X		I
1	2	8	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo	X			I
1	2	10	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla		X		HD
1	2	16	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
1	2	17	Actinidiaceae	<i>Saurauia montana</i>	Moquillo			X	HE
1	2	13	Symplocaceae	<i>Symplocos sp.</i>			X		E
1	2	1	Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>		X			HE
1	2	2	Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>		X			HE
1	2	3	Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>		X			HE
1	2	4	Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>		X			HE
1	2	9	Adoxaceae	<i>Viburnum venustum</i>				X	HE
1	3	2	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
1	3	3	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl Nance	X			I
1	3	5	Clethraceae	<i>Clethra licaniooides</i>	Macho	X			HD

No. Transepto	No. Parcela	No. Árbol	Familia	N. Científico	N. Común	Alto (>15)	Medio (15-5 m)	Bajo (<5 m)	Grupo ecológico
1	3	1	<i>Araliaceae</i>	<i>Dendropanax</i> sp.				X	HD
1	3	6	<i>Malvaceae</i>	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
1	3	4	<i>Actinidiaceae</i>	<i>Saurauia yasicae</i>			X		I
1	4	3	<i>Sapindaceae</i>	<i>Billia rosea</i>			X		I
1	4	1	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho	X			HD
1	4	2	<i>Rubiaceae</i>	<i>Ladenbergia brenesii</i>			X		I
1	4	4	<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum rovirosanum</i>	Moco			X	HE
2	1	1	<i>Betulaceae</i>	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
2	1	5	<i>Urticaceae</i>	<i>Cecropia polyphlebia</i>	Cecropia		X		HE
2	1	4	<i>Malvaceae</i>	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
2	1	2	<i>Araliaceae</i>	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla		X		HD
2	1	3	<i>Actinidiaceae</i>	<i>Saurauia montana</i>	Moquillo			X	HE
2	2	6	<i>Betulaceae</i>	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
2	2	1	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho	X			HD
2	2	2	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho	X			HD
2	2	3	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho		X		HD
2	2	5	<i>Malvaceae</i>	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
2	2	4	<i>Primulaceae</i>	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo	X			I
2	3	3	<i>Betulaceae</i>	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
2	3	1	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho		X		HD
2	3	2	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho	X			HD
2	4	2	<i>Betulaceae</i>	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
2	4	3	<i>Betulaceae</i>	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
2	4	5	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho		X		HD
2	4	1	<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo		X		E
2	4	4	<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
2	5	9	<i>Primulaceae</i>	<i>Ardisia nigropunctata</i>				X	HD
2	5	1	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho		X		HD
2	5	2	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho		X		HD
2	5	5	<i>Malvaceae</i>	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
2	5	6	<i>Malvaceae</i>	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
2	5	7	<i>Primulaceae</i>	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo	X			I
2	5	8	<i>Primulaceae</i>	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo	X			I
2	5	3	<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
2	5	4	<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
2	5	10	<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita,		X		E

No. Transepto	No. Parcela	No. Árbol	Familia	N. Científico	N. Común	Alto (>15)	Medio (15-5 m)	Bajo (<5 m)	Grupo ecológico
					zapotillo				
2	6	6	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
2	6	1	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho	X			HD
2	6	2	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho	X			HD
2	6	3	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
2	6	4	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
2	6	5	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
2	7	3	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
2	7	1	Actinidiaceae	<i>Saurauia montana</i>	Moquillo			X	HE
2	7	2	Actinidiaceae	<i>Saurauia montana</i>	Moquillo		X		HE
2	8	1	Urticaceae	<i>Urera</i> sp.	Ortiga			X	HE
2	9	1	Urticaceae	<i>Urera</i> sp. <i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Ortiga			X	HE
2	10	1	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
3	1	4	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama			X	I
3	1	5	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama Nance		X		I
3	1	2	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Macho		X		HD
3	1	3	Asteraceae	<i>Critoniopsis triflosculosa</i>	Tuete		X		I
3	1	1	Fabaceae	<i>Inga oerstediana</i>		X			HD
3	1	6	Solanaceae	<i>Solanum rovirosanum</i>	Moco			X	HE
3	1	7	Adoxaceae	<i>Viburnum costaricanum</i>			X		I
3	2	8	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
3	2	9	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
3	2	6	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama Nance		X		I
3	2	1	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Macho Nance			X	HD
3	2	2	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Macho Nance		X		HD
3	2	3	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Macho Nance		X		HD
3	2	4	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Macho Nance		X		HD
3	2	5	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Macho	X			HD
3	2	7	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
3	2	10	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío		X		HE
3	2	11	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
3	3	1	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho			X	HD
3	3	10	Asteraceae	<i>Critoniopsis triflosculosa</i>	Tuete		X		I
3	3	8	Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>	Ciprés		X		HD
3	3	9	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo	X			I
3	3	2	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E

No. Transepto	No. Parcela	No. Árbol	Familia	N. Científico	N. Común	Alto (>15)	Medio (15-5 m)	Bajo (<5 m)	Grupo ecológico
3	3	3	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
3	3	4	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
3	3	5	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
3	3	6	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
3	3	7	Adoxaceae	<i>Viburnum costaricanum</i>			X		I
3	4	9	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama	X			I
3	4	10	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama	X			I
3	4	2	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho		X		HD
3	4	12	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Nance Macho			X	HD
3	4	13	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Macho	X			HD
3	4	5	Malvaceae	<i>Heliocharis appendiculatus</i>	Burío		X		HE
3	4	6	Malvaceae	<i>Heliocharis appendiculatus</i>	Burío		X		HE
3	4	1	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
3	4	7	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>			X		E
3	4	8	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>			X		E
3	4	3	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
3	4	4	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
3	4	11	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo		X		E
3	5	1	Primulaceae	<i>Myrsine coriácea</i>	Ratoncillo	X			I
3	5	7	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla	X			HD
3	5	2	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
3	5	3	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
3	5	4	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
3	5	5	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo		X		E
3	5	6	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo		X		E
3	6	6	Primulaceae	<i>Myrsine coriácea</i>	Ratoncillo	X			I
3	6	7	Primulaceae	<i>Myrsine coriácea</i>	Ratoncillo	X			I
3	6	2	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla	X			HD
3	6	1	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>			X		E
3	6	4	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
3	6	3	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo		X		E
3	6	5	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
4	1	2	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
4	1	5	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama		X		I
4	1	6	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama		X		I
4	1	4	Asteraceae	<i>Clibadium leiocarpum</i>			X		HE

No. Transepto	No. Parcela	No. Árbol	Familia	N. Científico	N. Común	Alto (>15)	Medio (15-5 m)	Bajo (<5 m)	Grupo ecológico
4	1	1	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
4	1	3	Solanaceae	<i>Solanum rovirosanum</i>	Moco			X	HE
4	2	2	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
4	2	1	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo		X		I
4	2	3	Solanaceae	<i>Solanum rovirosanum</i>	Moco			X	HE
4	3	3	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X			I
4	3	1	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama Mariquita, zapotillo		X		I
4	3	4	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>		X			E
4	3	5	Solanaceae	<i>Solanum rovirosanum</i>	Moco			X	HE
4	3	2	Meliaceae	<i>Trichilia havanensis</i>	Uruca Nance Macho		X		HD
4	4	9	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>		X			HD
4	4	7	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
4	4	8	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
4	4	3	Lauraceae	<i>Ocotea holdridgeana</i>	Aguatillo blanco, quizarrá baboso Quizarrá caca		X		E
4	4	10	Lauraceae	<i>Ocotea meziana</i>				X	HD
4	4	4	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
4	4	5	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
4	4	6	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>			X		E
4	4	1	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita, zapotillo	X			E
4	4	2	Rosaceae	<i>Prunus annularis</i>	Mariquita	X			E
4	5	6	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama			X	I
4	5	2	Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>	Ciprés		X		HD
4	5	7	Rhamnaceae	<i>Frangula discolor</i>			X		HD
4	5	1	Lauraceae	<i>Nectandra cufodontisii</i>				X	I
4	5	3	Lauraceae	<i>Ocotea holdridgeana</i>	Aguatillo blanco, quizarrá baboso Aguatillo blanco, quizarrá baboso			X	E
4	5	4	Lauraceae	<i>Ocotea holdridgeana</i>			X		E
4	5	5	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>			X		E
5	1	3	Lamiaceae	<i>Cornutia pyramidata</i>			X		I
5	1	4	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
5	1	1	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo		X		I
5	1	2	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo Nance		X		I
5	2	3	Clethraceae	<i>Clethra licanioides</i>	Macho	X			HD
5	2	1	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE

No. Transepto	No. Parcela	No. Árbol	Familia	N. Científico	N. Común	Alto (>15)	Medio (15-5 m)	Bajo (<5 m)	Grupo ecológico
5	2	7	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo	X			I
5	2	8	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo	X			I
5	2	2	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla	X			HD
5	2	4	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla			X	HD
5	2	9	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>			X		E
5	2	5	Rhamnaceae	<i>Frangula oreodendron</i>		X			HD
5	2	6	Rhamnaceae	<i>Frangula oreodendron</i>		X			HD
5	3	6	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama		X		I
5	3	10	Thymelaeaceae	<i>Daphnopsis americana</i>			X		HD
5	3	1	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
5	3	2	Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	X			HE
5	3	3	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo		X		I
5	3	4	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo		X		I
5	3	5	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo		X		I
5	3	7	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo			X	I
5	3	8	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo			X	I
5	3	9	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo	X			I
5	3	16	Lauraceae	<i>Nectandra cufodontisii</i>			X		I
5	3	15	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla			X	HD
5	3	17	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla		X		HD
5	3	18	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla		X		HD
5	3	11	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
5	3	12	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
5	3	13	Rubiaceae	<i>Palicourea adusta</i>				X	E
5	3	14	Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i>			X		HE

Anexo 3. Especies encontradas en las zonas aledañas al río que atraviesa La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

N. Científico	N. Común	Estrato			Grupo ecológico
		Alto (>15)	Medio (15-5 m)	Bajo (<5 m)	
<i>Cedrela tonduzii</i>	Cedro	X			HD
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío				HE
<i>Tapirira mexicana</i>		X			HD
<i>Tapirira mexicana</i>		X			HD
<i>Oreopanax xalapensis</i>	Papayilla		X		HD
<i>Cupressus lusitánica</i>	Ciprés		X		HD
<i>Palicourea adusta</i>				X	E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			E
<i>Saurauia montana</i>	Moquillo			X	E
<i>Cecropia polyphlebia</i>	Guarumo		X		HE
<i>Cecropia polyphlebia</i>	Guarumo		X		HE
<i>Cecropia polyphlebia</i>	Guarumo		X		HE
<i>Myrsine coriácea</i>	Ratoncillo			X	I
<i>Citharexylum caudatum</i>	Dama			X	I
<i>Vismia baccifera</i>			X		HD
<i>Cedrela tonduzii</i>	Cedro		X		HD
<i>Cedrela tonduzii</i>	Cedro		X		HD
<i>Cedrela tonduzii</i>	Cedro		X		HD
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			HD
<i>Quercus oocarpa</i>	Encino	X			HD
<i>Sloanea ampla</i>		X			HD
<i>Vismia baccifera</i>				X	HD
<i>Vismia baccifera</i>				X	HD
<i>Spathodea campanulata</i>			X		I
<i>Ficus pertusa</i>			X		HD
<i>Ocotea mollifolia</i>		X			HD

N. Científico	N. Común	Estrato			Grupo ecológico
		Alto (>15)	Medio (15-5 m)	Bajo (<5 m)	
<i>Sambucus canadensis</i>				X	I
<i>Sambucus canadensis</i>				X	I

Anexo 4. Presupuesto para la restauración ecológica implementando el método radial y plantación libre, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Categoría de inversión	Unidad	Cantidad	Valor unitario (₡)	Total
Mano de Obra				
Adecuación de sitios de plantación (Limpieza + Encalado)	Jornal	44	10 061	17 706 92
Trazado y ahoyado	Jornal	41	10 061	1 649 963
Aplicación de fertilizantes	Jornal	8	10 061	321 944
Plantación y tutorado	Jornal	20	10 061	804 860
Control fitosanitario	Jornal	8	10 061	321 944
Profesional a cargo	Jornal	121	38 000	4 598 000
Subtotal MO				9 467 403
Insumos				
Árboles	Unidad	4 920	1 000	4 920 000
Fertilizante 10 30 10	Kg	10	14 000	137 760
Estacas para trazado	Global			80 000
Subtotal Insumos				5 137 760
Otros gastos				
Transporte de material vegetal del vivero al sitio de acopio	Global			200 000
Transporte de material vegetal y herramientas del sitio de acopio al sitio de plantación	Global			30 000
Subtotal Otros gastos				230 000
Subtotal MO + Insumos + Otros gastos				14 827 403
Imprevistos 5%	Global			741 370
Total				15 576 921

Anexo 5. Presupuesto para la restauración ecológica implementando el método radial, plantación libre y tresbolillo, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Categoría de inversión	Unidad	Cantidad	Valor unitario (₡)	Total
Mano de Obra				
Adecuación de sitios de plantación (Limpieza + Encalado)	Jornal	44	10 061	1 770 692
Trazado y ahoyado	Jornal	88	10 061	3 541 384
Aplicación de fertilizantes	Jornal	12	10 061	482 916
Plantación y tutorado	Jornal	42	10 061	1 699 864
Control fitosanitario	Jornal	12	10 061	482 916
Profesional a cargo	Jornal	198	38 000	7 533 120
Subtotal MO				15 510 892
Insumos				
Árboles	Unidad	10 560	1 000	10 560 000
Fertilizante 10 30 10	Kg	21	14 000	295 680
Estacas para trazado	Global			180 000
Subtotal Insumos				11 035 680
Otros gastos				
Transporte de material vegetal del vivero al sitio de acopio	Global			400 000
Transporte de material vegetal y herramientas del sitio de acopio al sitio de plantación	Global			60 000
Subtotal Otros gastos				460 000
Subtotal MO + Insumos + Otros gastos				26 950 892
Imprevistos 5%	Global			1 347 545
Total				28 356 901

Anexo 6. Presupuesto para la restauración ecológica implementando el método de tresbolillo y plantación libre, en La Finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José, Costa Rica, 2018.

Categoría de inversión	Unidad	Cantidad	Valor unitario (₡)	Total
Mano de Obra				
Adecuación de sitios de plantación (Limpieza + Encalado)	Jornal	44	10 061	1 770 692
Trazado y ahoyado	Jornal	98	10 061	3 923 693
Aplicación de fertilizantes	Jornal	15	10 061	603 645
Plantación y tutorado	Jornal	47	10 061	1 883 372
Control fitosanitario	Jornal	15	10 061	603 645
Profesional a cargo	Jornal	218	38 000	8 295 400
Subtotal MO				17 080 447
Insumos				
Árboles	Unidad	11 700	1 000	18 353 000
Fertilizante 10 30 10	Kg	23	14 000	327 600
Estacas para trazado	Global			200 000
Subtotal Insumos				19 116 884
Otros gastos				
Transporte de material vegetal del vivero al sitio de acopio	Global			400 000
Transporte de material vegetal y herramientas del sitio de acopio al sitio de plantación	Global			60 000
Subtotal Otros gastos				460 000
Subtotal MO + Insumos + Otros gastos				36 657 331
Imprevistos 5%	Global			1 832 867
Total				38 490 197