



**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro Universitario de Suroccidente  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Informe final de servicios en Instituto Nacional de Bosques (Subregión IX-3):  
Caracterización de experiencias en restauraciones con fines energéticos en las  
fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.**

Por:

Melanie Stephanía González Córdova / 201941963

ASESOR:

Inga. Agr. Mirna Lucrecia Vela Armas

REVISOR:

Inga. Agr. Iris Yvonnee Cárdenas Sagastume

Presentado ante las autoridades del Centro Universitario de Suroccidente -  
CUNSUROC-, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo a conferírsele el  
título que le acredita como Ingeniero en Gestión Ambiental Local en el grado académico  
de Licenciado.

Mazatenango, Suchitepéquez, septiembre de 2024

**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Centro Universitario de Suroccidente**

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero Secretario General

**Miembros del Consejo Directivo del Centro Universitario de Suroccidente**

M.A. Luis Carlos Muñoz López Director en Funciones

**Representante Profesores del CUNSUROC**

M.Sc. Edgar Roberto del Cid Chacón Vocal

**Representante Graduado del CUNSUROC**

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles Vocal

**Representantes Estudiantiles**

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel Vocal

PEM Y TAE. Rony Roderico Alonzo Solis Vocal

## **COORDINACIÓN ACADÉMICA**

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutierrez Gamboa

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

M.A. Rita Elena Rodríguez Rodríguez

Coordinadora Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Dr. Mynor Raúl Oztzy Rosales

Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

MSc. Tania María Cabrera Ovalle

Coordinadora Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales Abogacía y  
Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez Coordinador de Área

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos

Coordinador de las carreras de Pedagogía

M.A. Juan Pablo Ángeles Lam

Coordinador Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la  
Comunicación

## Dedicatoria

- A Dios:** Por brindarme la vida y por estar siempre a mi lado. Gracias, Dios, por ayudar a calmar mi ansiedad y por apoyarme en cada momento de mi vida. Tu amor y guía me han dado la fuerza y la paz que necesito para superar los desafíos y avanzar con esperanza. Estoy eternamente agradecido por Tu presencia constante y por las bendiciones que has derramado sobre mí.
- A mis padres:** Vivian Karina Córdova Ramos y Erick Marcelo González Saravia, por su amor incondicional, apoyo constante y los innumerables esfuerzos que han hecho para brindarme una educación. Sin su dedicación y sacrificio, no habría alcanzado mis metas y sueños. Gracias por creer en mí y por ser mi fuente de fortaleza y motivación. Su amor y apoyo han sido fundamentales en cada paso de mi camino.
- A mi hermana:** Vivian Marcela González Córdova, por su amor y apoyo constante. Has sido un ejemplo a seguir en el ámbito educativo y tu dedicación ha sido una fuente de inspiración para mí. Gracias por estar siempre a mi lado, por tus consejos y por tu confianza en mis capacidades. Tu amor y guía han sido fundamentales en mi crecimiento y desarrollo.
- A mi abuela:** Herlinda Saravia, por su amor incondicional y su constante apoyo en mi crecimiento. Gracias por sus sabios consejos y por estar siempre ahí para guiarme en mi educación. Su amor y dedicación han sido fundamentales en mi vida, y no hay palabras suficientes para expresar cuánto valoro todo lo que ha hecho por mí. Siempre la llevaré en mi corazón y apreciaré cada enseñanza que me ha dado.

**A mis abuelos:** Blanca Ramos, Marco Córdova y Artemio González, quienes, aunque ya no están con nosotros, siempre vivirán en mi corazón. Su amor incondicional y su apoyo fueron fundamentales en mi crecimiento. Gracias por las enseñanzas, la sabiduría y el cariño que me brindaron. Sus recuerdos y el impacto que tuvieron en mi vida continúan guiándome y motivándome cada día. Siempre llevaré su amor y sus valores conmigo.

**A mi familia:** Gracias por su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de mi crecimiento. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome fortaleza y motivación en cada paso del camino. Su cariño y respaldo han sido fundamentales en mi desarrollo, y no podría haber alcanzado mis metas sin ustedes. Agradezco cada consejo, cada abrazo y cada momento compartido. Su amor ha sido el pilar más importante en mi vida.

**A mis amigos:** Gracias por su amor y apoyo en todos los aspectos de mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado, en las buenas y en las malas, y por ser quienes son. Su amistad ha sido una fuente de fortaleza y alegría, y no puedo imaginar mi vida sin ustedes. Aprecio cada risa, cada consejo y cada momento compartido. Su presencia y apoyo han sido fundamentales en mi camino, y siempre estaré agradecida por ello.

## **Agradecimientos**

- A:** La Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser alma máter que me ha formado académica y profesionalmente.
- A:** El Centro Universitario de Suroccidente, por ser la casa de estudios que me permitió culminar esta etapa.
- A:** La Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, por los conocimientos brindados durante mi formación académica.
- A:** La Municipalidad de Retalhuleu, por permitirme desarrollar el curso de Prácticas Ambientales I, en dicho municipio.
- A:** El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, por permitirme desarrollar el curso de Prácticas Ambientales II, en la delegación departamental de Retalhuleu.
- A:** La Avícola Concepción “La Granja”, por permitirme desarrollar el curso de Prácticas Ambientales III.
- A:** El Instituto Nacional de Bosques -INAB-, por permitirme desarrollar el Ejercicio Profesional Supervisado -EPS- y la presente investigación.
- A:** Rainforest Alliance Inc., por el apoyo logístico y económico brindado.
- A:** Ing. Lucrecia Vela, por su asesoría y supervisión en las diferentes etapas del EPS.
- A:** MSc. Karen Pérez, por su apoyo durante mi etapa como estudiante y durante el desarrollo del EPS.
- A:** Ing. Yvonne Cárdenas , MSc. Eysen Enríquez y MSc. Heydi Vela por la revisión asertiva de la presente investigación, lo cual permitió mejorar notablemente este documento.
- A:** Ing. Francisco Méndez e Ing. Javier de Paz, por el apoyo brindado durante el desarrollo del EPS en el INAB.
- A:** Ing. Floridalma Miguel, Ing. José Morán, Ing. Mario Rafael Rodríguez Palma, Ing. Erick Ochoa, Ing. Bernardo Gordillo, Ing. Yvonne Fuentes, Ing. Anna Molina, Ing. Jose Ventura, Ing. Mariano Agustin, Ing. Samuel Garcia, Licda. Zulma Guerrero y el Sr. Carlos Ramirez, por el apoyo y conocimiento brindado durante el desarrollo del EPS.

**A:** Los comunitarios de Brisas del Mar y Esteros de Acapán, por el apoyo brindado en la logística y el trabajo de campo necesario para la investigación realizada.

**A:** Ing. Kharla Vides, MSc. Celso González Ing. Allan Castro, MSc. Miguel Oroxom, Ing. Sharon Quiñónez, Arq. Milton Hernández, por el conocimiento brindado durante mi etapa como estudiante.

## Índice

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Resumen .....	ix
Abstract .....	xi
I. Introducción .....	1
II. Descripción general de la unidad de práctica y sus problemas .....	2
2.1 Finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu. ....	2
2.2 Finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	11
2.3 Instituto Nacional de Bosques .....	21
2.4 Problemas ambientales de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	21
III. Caracterización de experiencias en restauraciones con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu. ....	25
3.1. Definición del problema .....	25
3.2 Justificación .....	26
3.3 Revisión bibliográfica .....	26
3.3.1 Restauración .....	27
3.3.2 Funcionamiento del paisaje forestal .....	27
3.3.3 Programa de incentivos para establecimiento, recuperación, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala .....	28
3.3.4 Especie forestal .....	28
3.3.5 Especies forestales con fines energéticos .....	28
3.3.6 Especies utilizadas en las restauraciones con fines energéticos de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	29
3.3.7 Degradación arbórea.....	32
3.3.8 Degradación del suelo .....	33
3.3.9 Capacidad hídrica del suelo .....	33
3.3.10 Flujo de caja.....	33

3.3.11 Rentabilidad .....	34
3.3.12 Parcelas de investigación .....	34
3.3.13 Importancia del levantamiento de las parcelas.....	35
3.3.14 Tipos de parcelas .....	35
3.3.15 Tamaño y forma de las parcelas .....	36
3.3.16 Capacidad de campo .....	36
3.3.17 Punto de marchitez permanente.....	37
3.4 Objetivos.....	37
3.4.1 General .....	37
3.4.2 Específicos .....	37
3.5 Materiales y métodos .....	37
3.5.1 Materiales .....	37
3.5.2 Métodos.....	39
3.6 Presentación y discusión de resultados .....	61
3.6.1 Identificación del estado arbóreo.....	61
3.6.2 Degradación del suelo .....	67
3.6.3 Capacidad hídrica.....	73
3.6.4 Cálculo del costo de los proyectos .....	84
3.7 Conclusiones .....	97
3.8 Recomendaciones.....	100
IV. Referencias .....	102
V. Anexos.....	108

## Índice de figuras

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
1. Acceso a la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu .....	2
2. Acceso a la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	11
3. Modificaciones en el paisaje de las fincas Esteros de Acapán y Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	22
4. Pozo excavado de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	23
5. Basureros clandestinos dentro de las fincas Esteros de Acapán y Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	24
6. Parcelas circulares de muestreo para la medición de carbono .....	42
7. Separación, peso húmedo total y colecta de muestras de la maleza y hojarasca en la primera subparcela.....	43
8. Imagen representativa de la toma de diámetros y altura .....	44
9. Ensayo de Porchet.....	53
10. Porcentaje de especies en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	61
11. Porcentaje según el estado sanitario en que se encuentran las especies en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu .....	62
12. Porcentaje de especies en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	63
13. Porcentaje según el estado sanitario en que se encuentren las especies en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	64
14. Cantidad de toneladas de carbono en una hectárea de las restauraciones con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	67
15. Cantidad total de toneladas de carbono en las restauraciones con fines energéticos de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	68

16. Mapa de categorización de recarga hídrica de la restauración con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	73
17. Gráfica de dispersión de la curva de capacidad de infiltración en la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	76
18. Datos del logaritmo natural de la capacidad de infiltración menos el tiempo acumulado en (hr) en la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu .....	77
19. Gráfica de dispersión de la curva de capacidad de infiltración en la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	80
20. Datos del logaritmo natural de la capacidad de infiltración menos el tiempo acumulado en (hr) en la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	81
21. Porcentaje de los datos generados en el balance hídrico de las restauraciones con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	82
22. Recarga potencial por unidad de muestreo de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	83
23. Inversión realizada durante los cuatro años en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	87
24. Inversión acumulada en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	89
25. Inversión realizada durante los tres años en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	93
26. Inversión acumulada en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	95
27. Resultados del análisis de macro y micronutrientes del suelo de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, realizados en el laboratorio de Anacafé.....	108
28. Resultados del análisis de capacidad de campo y punto de marchitez permanente del suelo de la finca Esteros de Acapán, realizados en el laboratorio de Anacafé .....	109

29. Resultados del análisis de capacidad de campo y punto de marchitez permanente del suelo de la finca Brisas del Mar, realizados en el laboratorio de Anacafé .....	110
30. Resultados del análisis de propiedades físicas del suelo de la finca Esteros de Acapán, realizados en el laboratorio de Anacafé.....	111
31. Resultados del análisis de propiedades físicas del suelo de la finca Brisas del Mar, realizados en el laboratorio de Anacafé.....	112
32. Distribución de parcelas de muestreo en el área de la restauración con fines energéticas en la finca Brisas del Mar .....	117
33. Distribución de parcelas de muestreo en el área de la restauración con fines energéticas en la finca Esteros de Acapán.....	118
34. Distribución de puntos para el análisis del suelo en la finca Brisas del Mar.....	119
35. Distribución de puntos para el análisis del suelo en la finca Esteros de Acapán	120
36. Mapa de ubicación de la prueba de infiltración en la finca Brisas del Mar .....	121
37. Mapa de ubicación de la prueba de infiltración en la finca Esteros de Acapán ...	122
38. Mapa del uso actual de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu .....	123
39. Mapa de la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	124
40. Mapa del uso actual de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu....	125
41. Mapa de la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	126
42. Imagen representativa del indicador de textura .....	133
43. Imagen representativa del indicador de porosidad .....	134
44. Imagen representativa del indicador de erosión .....	135
45. Imagen representativa del indicador de profundidad .....	135
46. Actividad sobre la degradación del suelo en la finca Brisas del Mar .....	136
47. Actividad sobre la degradación del suelo en la finca Esteros de Acapán.....	136

## Índice de cuadros

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1. Inversión 2021 en la restauración de Brisas del Mar .....	6
2. Inversión 2022 en la restauración de Brisas del Mar .....	8
3. Inversión 2023 en la restauración de Brisas del Mar .....	10
4. Inversión 2020 en la restauración de Esteros de Acapán.....	15
5. Inversión 2021 en la restauración de Esteros de Acapán.....	16
6. Inversión 2022 en la restauración de Esteros de Acapán.....	18
7. Inversión 2023 en la restauración de Esteros de Acapán.....	20
8. Materiales y recursos utilizados en la investigación .....	38
9. Incentivos forestales de PROBOSQUE para plantaciones con fines energéticos... 60	
10. Estado de conservación de la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	65
11. Estado de conservación de la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuelu.....	66
12. Estado de degradación del suelo que se encuentra en la restauración con fines energéticos Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu .....	71
13. Estado de degradación del suelo que se encuentra en la restauración con fines energéticos Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	72
14. Balance hídrico de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	82

## Índice de tablas

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
1. Especies forestales nativas según listado de INAB .....	29
2. Tamaños y componentes de carbono evaluados en cada subparcela .....	41
3. Clasificación de la degradación del suelo .....	50
4. Carbono por hectárea de las restauraciones con fines energéticos de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	67
5. Carbono total de las restauraciones con fines energéticos de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	68
6. Análisis de suelo de macro y micronutrientes .....	69
7. Método de Porchet Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu .....	74
8. Método de Horton Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	75
9. Método de Porchet Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.....	78
10. Método de Horton Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	79
11. Proyección del volumen de leña en m <sup>3</sup> en las restauraciones con fines energéticos de los diferentes años .....	84
12. Proyección de egresos en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	85
13. Proyección de ingresos en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu .....	86
14. Proyección de egresos en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	91
15. Proyección de ingresos en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.....	92
16. Boleta de campo para identificar la degradación arbórea de las áreas de estudio.....	127
17. Boleta de campo para identificar la degradación del suelo de las áreas de estudio.....	128
18. Boleta de campo para identificar la capacidad de infiltración de las áreas de estudio.....	129

19. Boleta de campo para estimar la captación de carbono en los árboles de las áreas de estudio.....	130
20. Boleta de datos representativos del flujo de caja.....	131
21. Especies que se utilizan en la calculadora de carbono elaborada por INAB.....	132
22. Tipo de amasado según la textura.....	134

## Resumen

Las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán están situadas en el municipio de Champerico, departamento de Retalhuleu, tienen una extensión de 309.44 hectáreas (ha) y 223.85 ha respectivamente, se encuentran a 12 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m). Según Fondo de Tierras, la primera finca tiene 90 familias registradas como propietarias y la segunda 55 familias. Las restauraciones destinadas a fines energéticos en estas fincas abarcan 12.23 ha en Brisas del Mar y 3.45 ha en Esteros de Acapán, con especies forestales maderables de cedro y matilisguate y de tipo energético como aripín, madre cacao, melina y eucalipto con un total de 11,018 árboles en Brisas del Mar y 3,296 árboles en Esteros de Acapán.

El objetivo del servicio fue caracterizar las experiencias en restauraciones con fines energéticos en ambos sitios de estudio. Se tomaron en cuenta cuatro aspectos fundamentales, las condiciones actuales de la composición arbórea, del suelo y la capacidad hídrica en áreas restauradas, así como el cálculo de costo-beneficio para ambos proyectos. Se utilizó una metodología participativa, realizando entrevistas y encuestas dirigidas a la población, al igual que muestreos de las restauraciones y análisis del suelo en ambos sitios. Para el cálculo de costos, se recabó información de las entidades involucradas y los habitantes de ambas comunidades, para realizar una proyección de beneficios que la restauración puede brindar mediante la comercialización de productos forestales y el ingreso económico por medio de los incentivos forestales otorgados por el Instituto Nacional de Bosques -INAB- a través de la ley PROBOSQUE.

Con la información obtenida se realizó un historial de las plantaciones, el cual contiene datos de cada área, desde su establecimiento hasta julio del 2023. En este lapso se identificaron problemáticas en el desarrollo de las plantaciones, como desafíos climáticos, logísticos, con la gestión de recursos, de capacitación y planificación, entre otras. En la composición arbórea, la finca Brisas del Mar, posee 900 árboles/ha y

Esteros de Acapán posee 955 árboles/ha, lo cual es favorable para acceder a los incentivos forestales PROBOSQUE.

Asimismo, se llevó a cabo un cálculo costo-beneficio comparando costos operativos e inversiones con ingresos proyectados derivados de la producción de biomasa, basado en los precios de mercado, costos de mantenimiento y cosecha. En Brisas del Mar, se proyectaron ingresos de Q2,545,184.00 frente a egresos de Q2,271,470.34, y en Esteros de Acapán, los ingresos estimados fueron de Q368,970.00 con una inversión de Q950,361.96.

## Abstract

The Brisas del Mar and Esteros de Acapán farms are located in the township of Champerico, department of Retalhuleu, and cover 309.44 hectares (ha) and 223.85 ha, respectively, at 12 meters above sea level (m s.n.m). According to Fondo de Tierras, the first farm has 90 families registered as owners and the second farm has 55 families. Restoration for energy purposes on these farms covers 12.23 ha in Brisas del Mar and 3.45 ha in Esteros de Acapán, with timber species such as cedar and matilisguate and energy species such as aripín, madrecaao, melina, and eucalyptus, with a total of 11,018 trees in Brisas del Mar and 3,296 trees in Esteros de Acapán.

The objective of the service was to characterize the experiences in restoration for energy purposes in both study sites. Four fundamental aspects were taken into account: the current conditions of tree composition, soil composition and water capacity in restored areas, as well as the cost-benefit calculation for both projects. A participatory methodology was used, conducting interviews and surveys directed to the population, as well as sampling of the restorations and soil analysis in both sites. For the cost calculation, information was gathered from the entities involved and the inhabitants of both communities, in order to make a projection of the benefits that the restoration could provide through the commercialization of forest products and the economic income through the forestry incentives granted by the National Forest Institute -INAB- through the PROBOSQUE law.

The information obtained was used to create a history of the plantations, which contains data on each area from its establishment until July 2023. During this period, problems were identified in the development of the plantations, such as climatic, logistical, resource management, training and planning challenges, among others. In terms of tree composition, the Brisas del Mar farm has 900 trees/ha and Esteros de Acapán has 955 trees/ha, which is favorable for accessing PROBOSQUE forestry incentives.

A cost-benefit calculation was also carried out comparing operating costs and investments with projected income from biomass production, based on market prices, maintenance and harvesting costs. In Brisas del Mar, revenues were projected at Q2,545,184.00 versus expenditures of Q2,271,470.34, and in Esteros de Acapán, the estimated revenues were Q368,970.00 with an investment of Q950,361.96.

## I. Introducción

La restauración de bosques para fines energéticos es un proceso conductor de la experiencia de recuperación de la productividad del suelo, para beneficiar a las comunidades y recuperar algunos elementos de la estructura y función del ecosistema original.

La característica principal de este tipo de restauración con fines energéticos es que permite dinamizar la economía rural y a la vez proteger los recursos naturales. El desarrollo de esta estrategia en un país como Guatemala contribuye a frenar los motores de deforestación y degradación de bosques y a la vez convertir a sus actores en parte de la solución. (Borda, 2016, pp. 245, 252)

En sitios degradados, la restauración del paisaje forestal con fines energéticos se ha convertido en una estrategia fundamental en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Asimismo, el diseño adecuado de estas iniciativas es esencial para garantizar su éxito a largo plazo.

Bajo esa premisa, la presente investigación, toma en cuenta cuatro aspectos fundamentales para la restauración de ambos sitios: la composición arbórea, degradación del suelo, capacidad hídrica y análisis económico; para reconstruir analíticamente el proceso de restauración del paisaje forestal con fines energéticos, según los resultados obtenidos desde su establecimiento, con el objetivo de generar información a partir de la cual se pueda replicar y orientar otras iniciativas de restauración del paisaje forestal en otros sitios.

Para la elaboración de este servicio, se establecieron tres fases de trabajo: investigativo, de campo y de gabinete, basadas en el protocolo para la sistematización de experiencias de restauración productiva, del Instituto Nacional de Bosques, el cual contiene información acerca de los aspectos que se evaluaron en esta investigación.

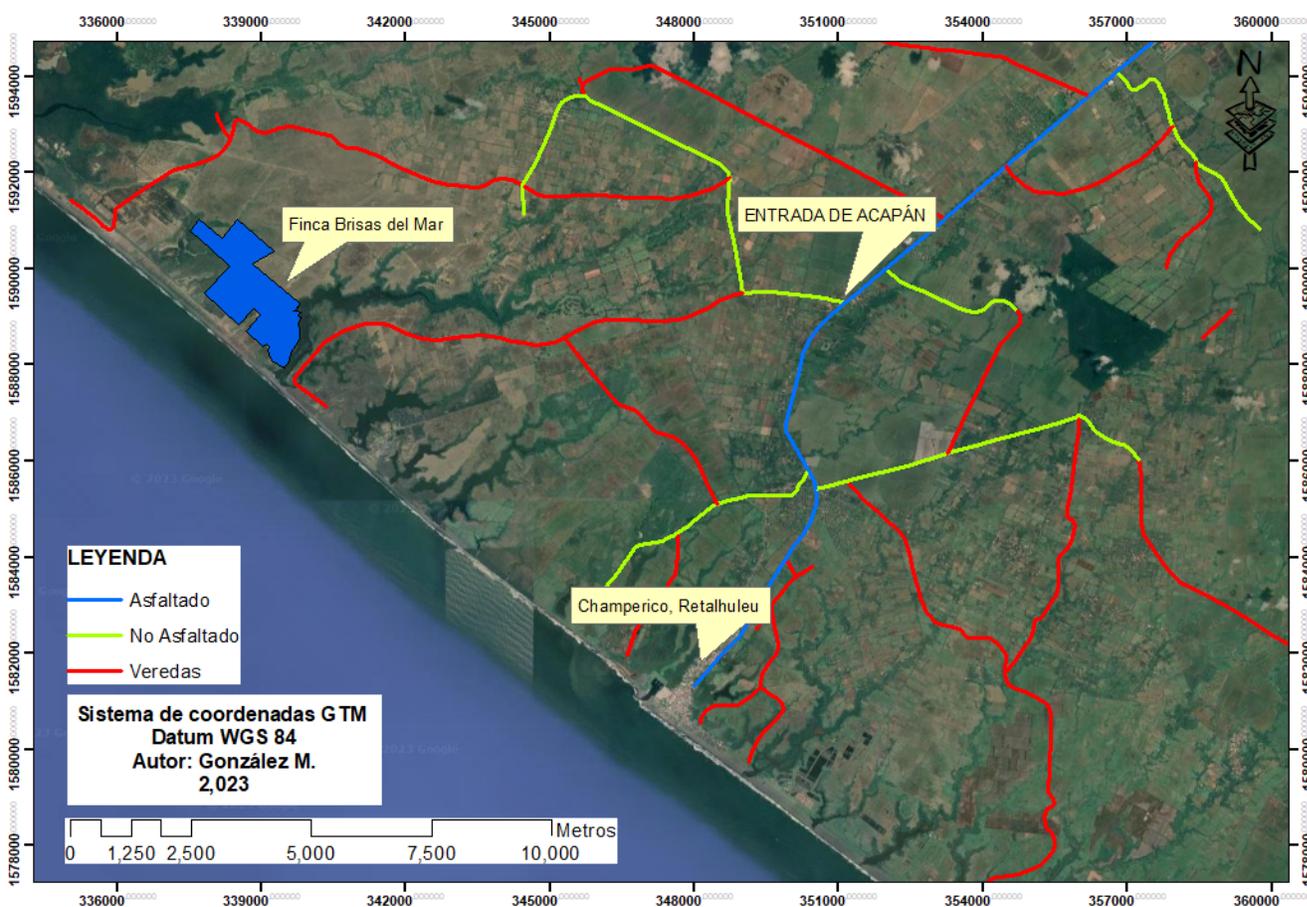
## II. Descripción general de la unidad de práctica y sus problemas

### 2.1 Finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu.

Según Fondo de Tierras (2022), la finca se ubica en el municipio de Champerico, departamento de Retalhuleu, inscrita en el Segundo Registro de la Propiedad con el número 3697, Folio 197 del Libro 128 E de Retalhuleu. Tiene una extensión de 309.44 ha, con sus coordenadas geográficas latitud  $14^{\circ}21'51.92''N$ , longitud  $91^{\circ}59'20.97''O$  (pp. 6-9).

**Figura 1**

Acceso a la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu



Fuente: SHP, MAGA (2022).

La vía de acceso a la finca es por carretera asfaltada denominada RN-9 Sur que comunica a los municipios de Retalhuleu y Champerico, recorriendo 26 Km hasta llegar al entronque llamado Acapán. De este entronque se recorren 14 kilómetros hasta llegar al cruce de la comunidad entre finca Palancas y finca La Perla, a través del tramo RN-95 -Nueva Cajolá- El Manchón.

Está ubicada en la vertiente del Pacífico, dentro de la cuenca del río Ocosito y subcuenca del río Cola de Pollo. Las cuales drenan al estero Acapán y Laguneta Grande, y finalmente desembocan en el Océano Pacífico. Se ubica a un nivel aproximado de 6.50 m s.n.m., lo que permite el abastecimiento de agua para consumo humano y otros fines a través de la perforación de pozos artesanales. (Fondo de Tierras, 2022, pp. 6-9)

De acuerdo con INSIVUMEH (2018), se reportan los siguientes datos climáticos entre el año 2006 al 2018, con un promedio de precipitación anual de 1,398.2 milímetros, promedio de lluvia anual de 92 días, temperatura promedio anual de 28.2 grados centígrados (°C), promedio humedad relativa anual de 78%, promedio de velocidad del viento anual de 3.5 km/hora y un promedio de nubosidad anual de cuatro octas de cielo cubierta. (p.1)

La finca se ubica en dos zonas de vida: Bosque Seco Subtropical bs-S y Bosque Húmedo Subtropical (cálido) bh-S(c), estas zonas de vida se caracterizan por tener una composición florística rica en diversidad. Entre las especies indicadoras de esta zona están: castaño (*Sterculia apetala*), palo de hormigo (*Platymiscium dimorphandrum*), palo de mora (*Chorophora tinctoria*), laurel (*Cordia alliodora*), conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), ceiba (*Ceiba pentandra*), chuun (*Cochlospermum vitifolium*), caoba (*Swietenia humilis*), ardillo tamarindillo (*Alvaradoa amorphoides*), palmito mexicano (*Sabal mexicana*), cardenal rojo (*Phyllocarpus septentrionalis*), carbonero (*Albizia carbonaria*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Avicennia nitida*), guaje (*Leucaena guatemalensis*). (De la Cruz, 1982, pp. 16-20)

Según Fondo de Tierras (2022), los suelos pertenecen a la serie Ixtán, caracterizados por ser profundos, drenaje moderado, desarrollados sobre materiales de grano fino, parecen haber sido depositados en una terraza marina, en un clima cálido, húmedo-seco, en relieves casi planos a altitudes bajas en el suroeste de Guatemala. (pp. 6-9)

La vegetación natural predominante es matorral abierto, bambú en algunos lugares y bosque bajo, el suelo superficial de los suelos Ixtán está compuesto de arcilla café muy oscura por lo cual el contenido de materia orgánica es relativamente bajo, alrededor del 3%. (Fondo de Tierras, 2022, pp. 6-9)

El orden de los suelos son vertisoles, son suelos con altos contenidos de arcilla expandible desde la superficie, se caracterizan por formar grietas profundas en todo el perfil, las cuales se observan principalmente en la época seca. Cuando están húmedos o mojados se vuelven muy plásticos. Casi siempre ocupan relieve plano o bien de suave a moderadamente ondulado. (Fondo de Tierras, 2022, pp. 6-9)

### **2.1.1. Antecedentes de la restauración con fines energéticos de la Finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu**

En el mes de junio del año 2021 se realizó con el apoyo de la comunidad, Instituto privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM) de Champerico y Fondo de Tierras, la primera plantación con fines energéticos en el área de Brisas del Mar, se sembraron 13,586 árboles de las especies de matiliguaste (5.10 ha con 5,666 árboles), madrecaao (2.45 ha con 2,721 árboles) y melina (4.68 ha con 5,199 árboles) en 12.23 ha. (Gómez, 2021, pp. 2-12)

En el mes de diciembre del año 2021 se realizó el primer monitoreo por el Instituto Nacional de Bosques el cual menciona que dicha área cumplía con la densidad mínima para entrar en la etapa de establecimiento según PROBOSQUE.

En el mes de marzo del año 2022 ocurrió un incendio forestal en el área de la plantación con fines energéticos destruyendo toda la plantación.

En julio del año 2022 se realizó una replantación con la participación de la comunidad, Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM) de Champerico, Instituto privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), Instituto Nacional de Bosques (INAB), Rainforest Alliance y Universidad Rural, en la misma área de 12.23 ha, se sembraron 5,078 árboles de matilisguate, 3,450 árboles de madre cacao, 500 árboles de melina y 4,554 árboles de aripín haciendo un total de 13,582 árboles. (Ochoa, E., 2022, pp. 1-16)

### **2.1.2 Inversión en la restauración con fines energéticos de la Finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu**

Durante el establecimiento de la plantación en el año 2021, se llevaron a cabo 300 jornadas, incluyendo actividades en vivero y riego en la plantación. El costo total por estas jornadas laborales ascendió a Q27,048.00, considerando un precio de jornal agrícola de Q90.16 por jornada.

Se realizaron compras de insumos por un valor total de Q272.00, que corresponden a la adquisición de 8 galones de gasolina para la bomba de la comunidad, con un precio unitario de Q34.00 por galón.

Se efectuó un pago anual del crédito subsidiado por la compra de la tierra por un monto total de Q50,227.20.

Aportes de entidades externas:

- **Fondo de Tierras:** Contribuyó con un total de Q52,359.90, destinando fondos para asistencia técnica profesional, herramientas, insumos (fertilizante y árboles), y mano de obra.
- **Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático:** Apoyó con Q13,173.21, cubriendo asistencia técnica, viáticos, depreciación del vehículo, insumos y mano de obra relacionada con el traslado de insumos.
- **Unidad de Gestión Ambiental Municipal de Champerico:** Aportó Q4,800 para asistencia técnica y adquisición de una tonelada de tierra negra.

→ **Instituto Nacional de Bosques:** Contribuyó con Q287.00 en asistencia técnica y Q102.00 en transporte para llegar a la finca.

La suma total de los aportes y gastos relacionados con el primer establecimiento de la plantación con fines energéticos alcanzó un valor de Q148,269.31.

### Cuadro 1

#### Inversión 2021 en la restauración de Brisas del Mar

Actividad	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total	Inversión de
Asistencia técnica profesional	10	Asesoría	Q500.00	Q5,000.00	Fondo de Tierras
Crédito subsidiado por la compra de la tierra	12	Cuota mensual de compra del terreno	Q4,185.60	Q50,227.20	Comunidad Brisas del Mar
Asistencia técnica profesional	1	Asesoría	Q287.00	Q287.00	INAB
Asistencia técnica profesional	11	Asesoría	Q250.00	Q2,750.00	ICC
Asistencia técnica profesional	12	Asesoría	Q250.00	Q3,000.00	UGAM (Champerico)
Visita técnica	11	Viáticos	Q100.00	Q1,100.00	ICC
Visita técnica	11	Depreciación del vehículo	Q450.00	Q4,950.00	ICC
Visita técnica	2	Herramientas	Q200.00	Q400.00	Fondo de Tierras
Visita técnica	3	Transporte	Q34.00	Q102.00	Fondo de Tierras
Riego	8	Gasolina	Q34.00	Q272.00	Comunidad Brisas del Mar
Visita técnica	13587	Insumos	Q1.50	Q20,381.00	Fondo de Tierras
Visita técnica	24	Insumos	Q310.00	Q7,440.00	Fondo de Tierras

<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo total</b>	<b>Inversión de</b>
<b>Visita técnica</b>	1	Insumos	Q1,283.21	Q1,283.21	ICC
<b>Visita técnica</b>	10	Insumos	Q34.00	Q340.00	ICC
<b>Visita técnica</b>	1	Insumos	Q1,800.00	Q1,800.00	UGAM
<b>Vivero</b>	60	Mano de obra	Q90.16	Q5,409.60	(Champerico) Comunidad Brisas del Mar
<b>Preparación del sitio</b>	40	Mano de obra	Q90.68	Q3,627.06	Fondo de Tierras
<b>Delimitación del terreno</b>	40	Mano de obra	Q90.68	Q3,627.06	Fondo de Tierras
<b>Trazado</b>	40	Mano de obra	Q90.68	Q3,627.06	Fondo de Tierras
<b>Ahoyado</b>	40	Mano de obra	Q90.68	Q3,627.06	Fondo de Tierras
<b>Establecimiento de la plantación</b>	40	Mano de obra	Q90.68	Q3,627.06	Fondo de Tierras
<b>Descarga</b>	10	Mano de obra	Q90.16	Q901.60	Fondo de Tierras
<b>Riego</b>	240	Mano de obra	Q90.16	Q21,638.40	Comunidad Brisas del Mar
<b>Visita técnica</b>	3	Transporte	Q34.00	Q102.00	INAB
<b>Visita técnica</b>	11	Transporte	Q250.00	Q2,750.00	ICC
<b>TOTAL</b>				<b>Q148,269.31</b>	

**Fuente:** Cuadro elaborado en base a la información recolectada (se menciona en el inciso 3.5.2.4 sección “a” de este documento).

Durante el establecimiento de la plantación en 2022, se llevaron a cabo 797 jornadas, incluyendo actividades como vivero, ronda cortafuego, trazado, ahoyado, delimitación del terreno, riego, limpieza, plateos y replantación. El costo total por estas jornadas laborales ascendió a Q75,532.68, considerando un precio de jornal agrícola de Q94.44 por jornada.

Se realizaron compras de insumos por un valor total de Q264.00, que corresponden a la adquisición de 8 galones de gasolina para la bomba de la comunidad, con un precio unitario de Q33.00 por galón. Se efectuó un pago anual del crédito subsidiado por la compra de la tierra por un monto total de Q50,227.20.

Aportes de entidades externas:

- **Rainforest Alliance:** Contribuyó con un total de Q47,368.00, destinados a asistencia técnica profesional, gestión de alquiler de bus y comida para estudiantes, herramientas, insumos, y árboles donados por el INDE.
- **Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático:** Apoyó con Q.21,309.30, cubriendo asistencia técnica, viáticos, depreciación del vehículo, insumos y mano de obra relacionada con el traslado de insumos.
- **Unidad de Gestión Ambiental Municipal de Champerico:** Aportó Q6,600.00 para asistencia técnica y adquisición de una tonelada de tierra negra.
- **BANASA:** Proveyó 5,000 árboles a un precio unitario de Q2.50, totalizando Q12,500.
- **Universidad Rural:** Contribuyó con mano de obra, proporcionando un medio jornal a 25 personas por Q30.00, sumando un total de Q750.00.
- **Instituto Nacional de Bosques:** Apoyó con ayuda técnica profesional en el establecimiento del vivero, cubriendo gastos relacionados con la asistencia técnica y transporte de una practicante universitaria, teniendo un costo total de Q7,398.00.

La suma total de los aportes y gastos relacionados con el segundo establecimiento de la plantación con fines energéticos alcanzó un valor total de Q221, 685.18.

## Cuadro 2

### Inversión 2022 en la restauración de Brisas del Mar

Actividad	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total	Inversión de
Asistencia técnica profesional	27	Asesoría	Q175.00	Q4,725.00	INAB (EPSIGAL)
Asistencia técnica profesional	17	Asesoría	Q250.00	Q4,250.00	ICC
Asistencia técnica profesional	44	Asesoría	Q320.00	Q14,080.00	Rainforest Alliance Inc.
Asistencia técnica profesional	12	Asesoría	Q250.00	Q3,000.00	UGAM (Champerico)

Actividad	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total	Inversión de
Visita técnica	17	Viáticos	Q100.00	Q1,700.00	ICC
Visita técnica	17	Depreciación del vehículo	Q450.00	Q7,650.00	ICC
Visita técnica	1	Donación de transporte	Q600.00	Q600.00	Rainforest Alliance Inc.
Visita técnica	50	Donación de alimentación	Q10.00	Q500.00	Rainforest Alliance Inc.
Visita técnica	5000	Donación de árboles	Q2.50	Q12,500.00	BANASA
Visita técnica	10	Herramientas	Q1,380.00	Q13,800.00	Rainforest Alliance Inc.
Visita técnica	132	Transporte	Q33.00	Q4,356.00	Rainforest Alliance Inc.
Visita técnica	81	Transporte	Q33.00	Q2,673.00	INAB (EPSIGAL)
Visita técnica	6	Insumos	Q2,338.67	Q14,032.00	Rainforest Alliance Inc.
Riego	8	Gasolina	Q33.00	Q264.00	Comunidad Brisas del Mar
Visita técnica	1	Insumos	Q2,439.30	Q2,439.30	ICC
Visita técnica	30	Insumos	Q34.00	Q1,020.00	ICC
Visita técnica	2	Insumos	Q1,800.00	Q3,600.00	UGAM (Champerico)
Vivero	60	Mano de obra	Q94.44	Q5,666.40	Comunidad Brisas del Mar
Trazado	100	Mano de obra	Q94.44	Q9,444.00	Comunidad Brisas del Mar
Ahoyado	100	Mano de obra	Q94.44	Q9,444.00	Comunidad Brisas del Mar
Siembra	25	Mano de obra	Q30.00	Q750.00	Universidad Rural
Siembra	100	Mano de obra	Q94.44	Q9,444.00	Comunidad Brisas del Mar
Riego	240	Mano de obra	Q94.44	Q22,665.60	Comunidad Brisas del Mar
Limpias	60	Mano de obra	Q94.44	Q5,666.40	Comunidad Brisas del Mar
Plateos	120	Mano de obra	Q94.44	Q11,332.80	Comunidad Brisas del Mar
Ronda cortafuego	15	Mano de obra	Q94.44	Q1,416.60	Comunidad Brisas del Mar
Delimitación del terreno	2	Mano de obra	Q94.44	Q188.88	Comunidad Brisas del Mar
Visita técnica	17	Transporte	Q250.00	Q4,250.00	ICC
Crédito subsidiado por la compra de la tierra	12	Cuota mensual de compra del terreno	Q4,185.60	Q50,227.2	Comunidad Brisas del Mar
<b>TOTAL</b>				<b>Q221,685.18</b>	

**Fuente:** Cuadro elaborado en base a la información recolectada (se menciona en el inciso 3.5.2.4 sección "a" de este documento).

Durante el primer mantenimiento de la plantación con fines energéticos en el año 2023, los miembros de la comunidad llevaron a cabo un total de 585 jornadas laborales. Estas actividades comprendieron labores específicas como ronda cortafuego, ahoyado, riego, limpieza, plateos y replantación dentro de la plantación. El costo total por las jornadas laborales se estima en Q59,114.25, considerando un precio de jornal agrícola de Q101.05 por jornada.

Se adquirieron insumos por un valor total de Q272.00, correspondientes a la compra de 8 galones de gasolina destinados para la bomba de agua, con un precio unitario de Q34.00 por galón. Asimismo, se efectuó un desembolso anual del crédito subsidiado por la compra de la tierra por un monto total de Q50,227.20. La suma total de los gastos relacionados con el primer mantenimiento de la plantación con fines energéticos alcanzó un valor de Q109,613.45.

### Cuadro 3

#### Inversión 2023 en la restauración de Brisas del Mar

Actividad	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total	Inversión de
Riego	8	Gasolina	Q34.00	Q272.00	Comunidad Brisas del Mar
Ahoyado	100	Mano de obra	Q101.05	Q10,105.00	Comunidad Brisas del Mar
Siembra	50	Mano de obra	Q101.05	Q5,052.50	Comunidad Brisas del Mar
Riego	240	Mano de obra	Q101.05	Q24,252.00	Comunidad Brisas del Mar
Limpias	60	Mano de obra	Q101.05	Q6,063.00	Comunidad Brisas del Mar
Plateos	120	Mano de obra	Q101.05	Q12,126.00	Comunidad Brisas del Mar
Ronda cortafuego	15	Mano de obra	Q101.05	Q1,515.75	Comunidad Brisas del Mar
Crédito subsidiado por la compra de la tierra	12	Cuota mensual de compra del terreno	Q4,185.60	Q50,227.20	Comunidad Brisas del Mar
<b>TOTAL</b>				<b>Q109,613.45</b>	

**Fuente:** Cuadro elaborado en base a la información recolectada (se menciona en el inciso 3.5.2.4 sección “a” de este documento).

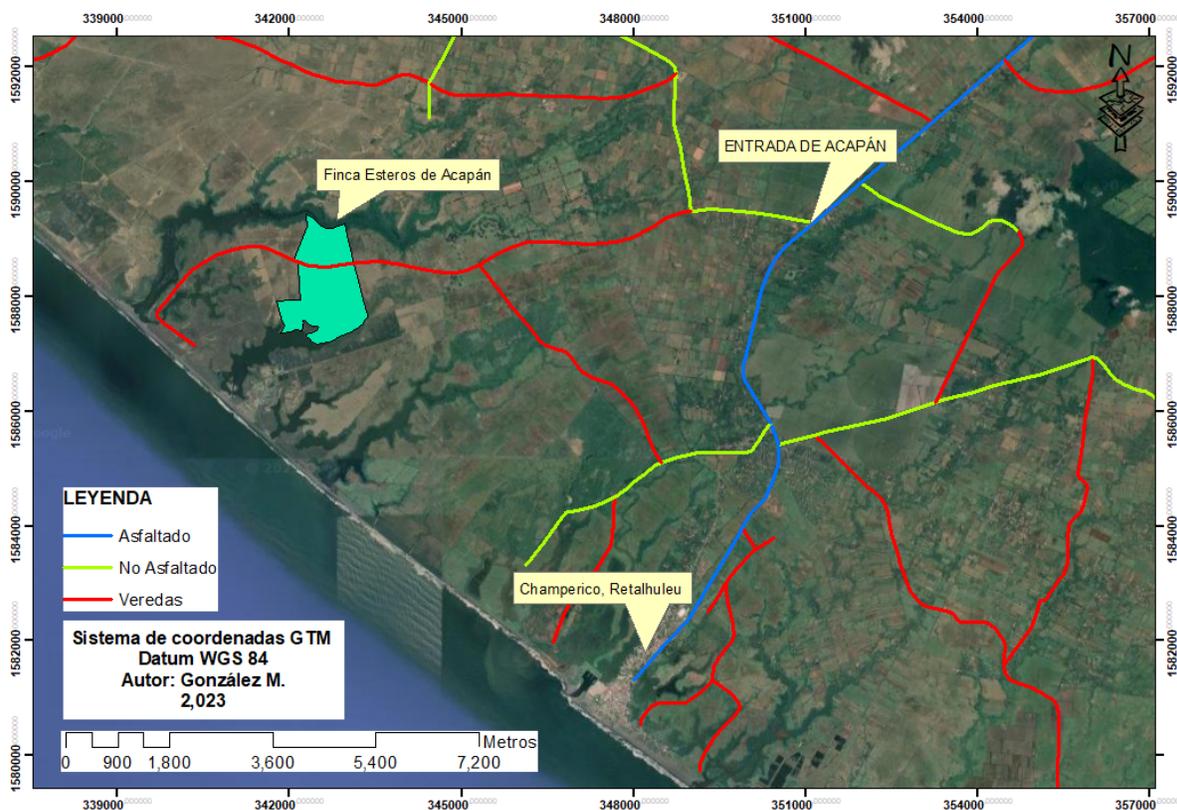
## 2.2 Finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

Según Fondo de Tierras (2022), la finca se ubica en el municipio de Champerico, Departamento de Retalhuleu, inscrita en el Segundo Registro de la Propiedad con el número 2992, Folio 492 del Libro 106 E de Retalhuleu. Tiene una extensión de 223.85 ha, sus coordenadas geográficas son latitud  $14^{\circ}21'39.06''N$ , longitud  $91^{\circ}57'26.91''O$  (pp. 6-9), como se muestra en la figura 2.

La vía de acceso a la finca es por carretera asfaltada denominada RN-9 Sur que comunica a los municipios de Retalhuleu y Champerico, a 2.5 Km de la estación Ralda Acapán hasta llegar al entronque llamado Acapán, de este entronque se recorren 2 kilómetros hasta el cruce a Esteros de Acapán.

**Figura 2**

Acceso a la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



Fuente: SHP, MAGA (2022).

La finca se ubica en la vertiente del Pacífico, dentro de la cuenca del río Ocosito, cuenta con recursos hídricos tipo esteros, aguas influenciadas por la dinámica de las mareas, que marcan bajas y crecidas. Cuenta con tres esteros dos en la parte sur y uno en la parte norte, de ello el nombre que lleva la finca. La comunidad se abastece de agua de pozos perforados, el agua se alcanza en el rango de profundidad de los ocho a diez metros. (Fondo de Tierras, 2022, pp. 6-9)

De acuerdo con INSIVUMEH (2018), se reportan los siguientes datos climáticos entre el año 2006 al 2018, con un promedio de precipitación anual de 1,398.2 milímetros, promedio de días de lluvia anual de 92 días, temperatura promedio anual de 28.2 °C, promedio humedad relativa anual de 78%, promedio de velocidad del viento anual de 3.5 km/hora y un promedio de nubosidad anual de cuatro octas de cielo cubierta. (p.1)

La finca se ubica en dos zonas de vida: Bosque Seco Subtropical bs-S y Bosque Húmedo Subtropical (cálido) bh-S(c), estas zonas de vida se caracterizan por tener una composición florística rica en diversidad. Entre las especies indicadoras de esta zona están: castaño (*Sterculia apetala*), palo de hormigo (*Platymiscium dimorphandrum*), palo de mora (*Chorophora tinctoria*), laurel (*Cordia alliodora*), conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), ceiba (*Ceiba pentandra*), chuun (*Cochlospermum vitifolium*), caoba (*Swietenia humilis*), ardillo tamarindillo (*Alvaradoa amorphoides*), palmito mexicano (*Sabal mexicana*), cardenal rojo (*Phyllocarpus septentrionalis*), carbonero (*Albizia carbonaria*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Avicennia nitida*), guaje (*Leucaena guatemalensis*). (De la Cruz, 1982, pp. 16-20)

Según Fondo de Tierras (2022), los suelos pertenecen a la serie Ixtán, caracterizados por ser profundos, drenaje moderado, desarrollados sobre materiales de grano fino, parecen haber sido depositados en una terraza marina, en un clima cálido, húmedo-seco, en relieves casi planos a altitudes bajas en el suroeste de Guatemala. (pp. 6-9)

La vegetación natural predominante es matorral abierto, bambú en algunos lugares y bosque bajo, el suelo superficial de los suelos Ixtán está compuesto de arcilla café muy

oscura por lo cual el contenido de materia orgánica es relativamente bajo, alrededor del 3%. (Fondo de Tierras, 2022, pp. 6-9)

El orden de los suelos son vertisoles, son suelos con altos contenidos de arcilla expandible desde la superficie, se caracterizan por formar grietas profundas en todo el perfil, las cuales se observan principalmente en la época seca. Cuando están húmedos o mojados se vuelven muy plásticos. Casi siempre ocupan relieve plano o bien de suave a moderadamente ondulado. (Fondo de Tierras, 2022, pp. 6-9)

### **2.2.1 Antecedentes de la restauración con fines energéticos de la Finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu**

En el mes de octubre del año 2020 se realizó con el apoyo de la comunidad y estudiantes de la Universidad San Carlos de Guatemala, parcelas de estudio en el área de la futura plantación con fines energéticos de Esteros de Acapán, se sembraron 2,598 árboles de ellos teca 866 árboles, eucalipto 866 árboles, aripín 866 árboles y palo blanco 866 árboles en 3.15 ha. (Entrevista a Pérez W. 2023)

Sin embargo, la pérdida de vitalidad y mortalidad de los árboles se atribuye, a la siembra fuera de tiempo, al escaso suministro de riegos proporcionados por los miembros de la comunidad.

En septiembre del año 2021 se realizó una replantación con el apoyo de la comunidad, UGAM (Unidad de Gestión Ambiental Municipal) de Champerico, ICC (Instituto privado de Investigación sobre el Cambio Climático) e Ingenio Magdalena, en donde se amplió el área de la plantación con 12 ha con las especies de matlisguate con 3,333 árboles, melina con 3,333 árboles, aripín con 3,333 árboles y eucalipto con 3,333 árboles haciendo un total de 13,332 árboles. (ICC, 2021, p.1)

En abril del año 2022 se realizó una segunda replantación con el apoyo de la comunidad, UGAM (Unidad de Gestión Ambiental Municipal) de Champerico, ICC (Instituto privado de Investigación sobre el Cambio Climático), INAB (Instituto Nacional de Bosques), Rainforest Alliance e Ingenio Magdalena, se sembraron 8,143 árboles

con las especies de matilisguate con 4,825 árboles, madrecaao con 375 árboles, aripín con 785 árboles y cedro con 2,158 árboles en 8.23 ha. (Ochoa, E., 2022, pp.1-16)

La ejecución de un pozo, gestionado por el Ingenio Magdalena en proximidad a la plantación, ha contribuido significativamente a la supervivencia de la mayoría de los árboles. Esta mejora se atribuye a la mayor frecuencia de riegos realizados por los miembros de la comunidad.

### **2.2.2 Inversión en la restauración con fines energéticos de la Finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu**

Durante el proyecto de parcelas de estudio en 2020, se llevaron a cabo 133 jornadas de trabajo que incluyeron tareas como preparación del sitio, delimitación del terreno, trazado, ahoyado, establecimiento de plantación, riego, limpias y plateos. El costo total de estas jornadas laborales ascendió a Q11,991.28, considerando un precio de jornal agrícola de Q90.16 por jornada.

Se adquirieron insumos por un valor total de Q45.32, correspondientes a la compra de 2.06 galones de gasolina para la bomba de la comunidad, con un precio unitario de Q22.00 por galón. Se realizó un desembolso anual por el crédito subsidiado por la compra de la tierra por un monto total de Q49,282.56.

La Universidad San Carlos de Guatemala brindó un apoyo de Q7,849.24, que incluyó asistencia técnica profesional, adquisición de insumos (3,464 árboles a un costo unitario de Q1.50) y mano de obra (14 jornadas a Q90.16 y gastos de transporte a Q66.00). El total invertido en el proyecto de parcelas de estudio en el año 2020 ascendió a Q69,168.40.

### Cuadro 4

#### Inversión 2020 en la restauración de Esteros de Acapán

Actividad	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total	Inversión de
<b>Asistencia técnica profesional</b>	5	Asesoría	Q265.00	Q1,325.00	USAC
<b>Riego</b>	2.06	Gasolina	Q22.00	Q45.32	Comunidad Acapán
<b>Visita técnica</b>	3464	Insumos	Q1.50	Q5,196.00	USAC
<b>Delimitación del terreno</b>	3	Mano de obra	Q90.16	Q270.48	Comunidad de Esteros
<b>Trazado</b>	14	Mano de obra	Q90.16	Q1,262.24	Comunidad de Esteros
<b>Ahoyado</b>	14	Mano de obra	Q90.16	Q1,262.24	Comunidad de Esteros
<b>Establecimiento de la plantación</b>	14	Mano de obra	Q90.16	Q1,262.24	Comunidad Esteros de Acapán
<b>Establecimiento de la plantación Riego</b>	14	Mano de obra	Q90.16	Q1,262.24	USAC
	46	Mano de obra	Q90.16	Q4,147.36	Comunidad de Esteros
<b>Limpias</b>	21	Mano de obra	Q90.16	Q1,893.36	Comunidad de Esteros
<b>Plateos</b>	21	Mano de obra	Q90.16	Q1,893.36	Comunidad de Esteros
<b>Visita técnica</b>	3	Transporte	Q22.00	Q66.00	USAC
<b>Crédito subsidiado por la compra de la tierra</b>	12	Cuota mensual de compra del terreno	Q4,106.88	Q49,282.56	Comunidad de Esteros
<b>TOTAL</b>				<b>Q69,168.40</b>	

**Fuente:** Cuadro elaborado en base a la información recolectada (se menciona en el inciso 3.5.2.4 sección “a” de este documento).

Durante el establecimiento de la plantación en 2021, se llevaron a cabo 193 jornadas de trabajo que abarcaron labores como vivero, delimitación del terreno, trazado, ahoyado, establecimiento de plantación, riego, limpias y plateos. El costo total de estas jornadas laborales ascendió a Q17,400.88, considerando un precio de jornal agrícola de Q90.16 por jornada.

Se adquirieron insumos por un valor total de Q272.00, correspondientes a la compra de 8 galones de gasolina para la bomba de la comunidad, con un precio unitario de Q34.00 por galón. Además, se prestó alojamiento y alimentación a los conductores de la retroexcavadora por un monto de Q8,030.00.

Se realizó un desembolso anual por el crédito subsidiado por la compra de la tierra por un monto total de Q49,282.56.

Apoyo de entidades externas:

- **Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático:** Contribuyó con Q11,666.74, cubriendo asistencia técnica profesional, viáticos, depreciación del vehículo, insumos y mano de obra necesarios para el establecimiento de la plantación.
- **Unidad de Gestión Ambiental Municipal de Champerico:** Ofreció un apoyo de Q4,800.00, incluyendo asistencia técnica profesional y adquisición de insumos para el proyecto.
- **Ingenio Magdalena:** Contribuyó con Q30,450.00, donando árboles de matiliguete y aripín, así como brindando mano de obra mediante el préstamo de una retroexcavadora para la limpieza del área.

El total invertido en el primer establecimiento de la plantación en el año 2021 ascendió a Q121,902.18.

### Cuadro 5

#### Inversión 2021 en la restauración de Esteros de Acapán

Actividad	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total	Inversión de
Asistencia técnica profesional	10	Asesoría	Q 250.00	Q2,500.00	ICC
Asistencia técnica profesional	12	Asesoría	Q 250.00	Q3,000.00	UGAM (Champerico)
Visita técnica	10	Viáticos	Q 100.00	Q1,000.00	ICC
Visita técnica	10	Depreciación del vehículo	Q 450.00	Q4,500.00	ICC
Visita técnica	500	Insumos	Q 2.50	Q1,250.00	Ingenio Magdalena
Limpieza	146	Hospedaje	Q 110.00	Q8,030.00	Comunidad de Esteros
Riego	8	Gasolina	Q 34.00	Q272.00	Comunidad de Esteros
Visita técnica	1	Insumos	Q 690.74	Q690.74	ICC
Visita técnica	14	Insumos	Q 34.00	Q476.00	ICC
Visita técnica	1	Insumos	Q1,800.00	Q1,800.00	UGAM (Champerico)
Vivero	60	Mano de obra	Q 90.16	Q5,409.60	Comunidad de Esteros

Actividad	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total	Inversión de
Delimitación del terreno	3	Mano de obra	Q 90.16	Q270.48	Comunidad de Esteros
Trazado	14	Mano de obra	Q 90.16	Q1,262.24	Comunidad de Esteros
Ahoyado	14	Mano de obra	Q 90.16	Q1,262.24	Comunidad de Esteros
Siembra	14	Mano de obra	Q 90.16	Q1,262.24	Comunidad de Esteros
Riego	46	Mano de obra	Q 90.16	Q4,147.36	Comunidad de Esteros
Limpias	21	Mano de obra	Q 90.16	Q1,893.36	Comunidad de Esteros
Plateos	21	Mano de obra	Q 90.16	Q1,893.36	Comunidad de Esteros
Alquiler de retroexcavadora	73	Mano de obra	Q 400.00	Q29,200.00	Ingenio Magdalena
Visita técnica	10	Transporte	Q 250	Q2,500.00	ICC
Crédito subsidiado por la compra de la tierra	12	Cuota mensual de compra del terreno	Q4,106.88	Q49,282.56	Comunidad de Esteros
<b>TOTAL</b>				<b>Q121,902.18</b>	

**Fuente:** Cuadro elaborado en base a la información recolectada (se menciona en el inciso 3.5.2.4 sección “a” de este documento).

Durante el establecimiento de la plantación en 2022, se llevaron a cabo 199 jornadas de trabajo que abarcaron labores como vivero, delimitación del terreno, trazado, ahoyado, establecimiento de la plantación, riego, limpias y plateos. El costo total de estas jornadas laborales ascendió a Q18,793.56, considerando un precio de jornal agrícola de Q94.44 por jornada.

Se adquirieron insumos por un valor total de Q177.54, correspondientes a la compra de 5.38 galones de gasolina para la bomba de la comunidad, con un precio unitario de Q33.00 por galón. Además, se prestó alojamiento y alimentación a los conductores de la retroexcavadora por un monto de Q8,030.00.

Se realizó un desembolso anual por el crédito subsidiado por la compra de la tierra con un monto total de Q49,282.56.

Apoyo de entidades externas:

- **Rainforest Alliance:** Brindó apoyo a los comunitarios con un monto de Q22,496.00, cubriendo asistencia técnica profesional, herramientas y varios insumos necesarios para el establecimiento de la plantación.
- **Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático:** Contribuyó con Q14,335.90, cubriendo asistencia técnica profesional, viáticos, depreciación del vehículo, insumos y mano de obra necesarios para el proyecto.
- **Unidad de Gestión Ambiental Municipal de Champerico:** Ofreció un apoyo de Q4,800.00, incluyendo asistencia técnica profesional y adquisición de insumos para el proyecto.
- **INDE e Instituto Nacional de Bosques:** Suministraron árboles para el establecimiento de la plantación, con una contribución de 8,000 árboles y 500 árboles respectivamente.
- **Ingenio Magdalena:** Contribuyó con Q8,400.00, brindando mano de obra mediante el préstamo de una retroexcavadora para la limpieza del área.

El total invertido en el segundo establecimiento de la plantación en el año 2022 ascendió a Q149,530.56.

### Cuadro 6

Inversión 2022 en la restauración de Esteros de Acapán

Actividad	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total	Inversión de
Asistencia técnica profesional	1	Asesoría	Q287.00	Q287.00	INAB
Asistencia técnica profesional	13	Asesoría	Q250.00	Q3,250.00	ICC
Asistencia técnica profesional	44	Asesoría	Q320.00	Q14,080.00	Rainforest Alliance Inc.
Asistencia técnica profesional	27	Asesoría	Q175.00	Q4,725.00	INAB (EPS)
Asistencia técnica profesional	12	Asesoría	Q250.00	Q3,000.00	UGAM (Champerico)
Visita técnica	13	Viáticos	Q100.00	Q1,300.00	ICC
Visita técnica	13	Depreciación del vehículo	Q450.00	Q5,850.00	ICC
Visita técnica	8000	Insumos	Q2.50	Q20,000.00	INDE
Visita técnica	7	Herramientas	Q556.85	Q3,898.00	Rainforest Alliance

<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo total</b>	<b>Inversión de</b>
<b>Visita técnica</b>	132	Transporte	Q33.00	Q4,356.00	Rainforest Alliance Inc.
<b>Visita técnica</b>	81	Transporte	Q33.00	Q2,673.00	INAB (EPS)
<b>Visita técnica</b>	2	Insumos	Q81.00	Q162.00	Rainforest Alliance Inc.
<b>Limpieza</b>	42	Hospedaje	Q110.00	Q2,310.00	Comunidad de Esteros
<b>Riego</b>	5.38	Gasolina	Q33.00	Q177.54	Comunidad de Esteros
<b>Visita técnica</b>	1	Insumos	Q175.90	Q175.90	ICC
<b>Visita técnica</b>	15	Insumos	Q34.00	Q510.00	ICC
<b>Visita técnica</b>	500	Insumos	Q2.50	Q1,250.00	INAB
<b>Visita técnica</b>	1	Insumos	Q1,800.00	Q1,800.00	UGAM (Champerico)
<b>Vivero</b>	60	Mano de obra	Q94.44	Q5,666.40	Comunidad de Esteros
<b>Delimitación del terreno</b>	3	Mano de obra	Q94.44	Q283.32	Comunidad de Esteros
<b>Trazado</b>	14	Mano de obra	Q94.44	Q1,322.16	Comunidad de Esteros
<b>Ahoyado</b>	14	Mano de obra	Q94.44	Q1,322.16	Comunidad de Esteros
<b>Siembra</b>	14	Mano de obra	Q94.44	Q1,322.16	Comunidad de Esteros
<b>Riego</b>	46	Mano de obra	Q94.44	Q4,344.24	Comunidad de Esteros
<b>Limpias</b>	21	Mano de obra	Q94.44	Q1,983.24	Comunidad de Esteros
<b>Plateos</b>	21	Mano de obra	Q94.44	Q1,983.24	Comunidad de Esteros
<b>Ronda cortafuego</b>	6	Mano de obra	Q94.44	Q566.64	Comunidad de Esteros
<b>Alquiler de retroescavadora</b>	21	Mano de obra	Q400.00	Q8,400.00	Ingenio Magdalena
<b>Visita técnica</b>	13	Transporte	Q250.00	Q3,250.00	ICC
<b>Crédito subsidiado por la compra de la tierra</b>	12	Cuota mensual de compra del terreno	Q4,106.88	Q49,282.56	Comunidad de Esteros
<b>TOTAL</b>				<b>Q149,530.56</b>	

**Fuente:** Cuadro elaborado en base a la información recolectada (se menciona en el inciso 3.5.2.4 sección “a” de este documento).

Durante el primer mantenimiento de la plantación en 2023, se efectuaron 120 jornadas de trabajo que incluyeron actividades como ronda cortafuego, ahoyado, riego, limpias, plateos y replantación. El costo total de estas jornadas laborales ascendió a Q12,126.00, considerando un precio de jornal agrícola de Q101.05 por jornada.

Se adquirieron insumos por un valor total de Q76.50, que corresponden a la compra de 2.25 galones de gasolina para la bomba de la comunidad, con un precio unitario de Q34.00 por galón.

Se realizó un desembolso anual por el crédito subsidiado por la compra de la tierra con un monto total de Q49,282.56. El total invertido en el primer mantenimiento de la plantación en el año 2023 ascendió a Q61,485.06.

### Cuadro 7

#### Inversión 2023 en la restauración de Esteros de Acapán

Actividad	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total	Inversión de
<b>Riego</b>	2.25	Gasolina	34	Q76.50	Comunidad de Esteros
<b>Ahoyado</b>	21	Mano de obra	Q101.05	Q2,122.05	Comunidad de Esteros
<b>Siembra</b>	21	Mano de obra	Q101.05	Q2,122.05	Comunidad de Esteros
<b>Riego</b>	30	Mano de obra	Q101.05	Q3,031.50	Comunidad de Esteros
<b>Limpias</b>	21	Mano de obra	Q101.05	Q2,122.05	Comunidad de Esteros
<b>Plateos</b>	21	Mano de obra	Q101.05	Q2,122.05	Comunidad de Esteros
<b>Ronda cortafuego</b>	6	Mano de obra	Q101.05	Q606.30	Comunidad de Esteros
<b>Crédito subsidiado por la compra de la tierra</b>	12	Cuota mensual de compra del terreno	Q4,106.88	Q49,282.56	Comunidad de Esteros
<b>TOTAL</b>				<b>Q61,485.06</b>	

**Fuente:** Cuadro elaborado en base a la información recolectada (se menciona en el inciso 3.5.2.4 sección “a” de este documento).

### **2.3 Instituto Nacional de Bosques**

Es una institución de gobierno, semiautónoma, con dependencia del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Es delegada como autoridad competente del sector público agrícola en materia forestal, buscando fomentar y regular el uso del bosque, bajo la constante mejora en los servicios que brinda a la población guatemalteca, especialmente a la población vinculada al uso sostenible de los bosques. (Instituto Nacional de Bosques, 2023, párr. 2, 3)

De acuerdo con la Ley Forestal (Decreto 101-96), el INAB trabaja para promover el desarrollo forestal del país y contribuir al desarrollo rural integral, a través del fomento al manejo sostenible y restauración de los bosques y tierras forestales, el fortalecimiento de la gobernanza forestal y la vinculación bosques, industria y mercado. (pp.7-11)

### **2.4 Problemas ambientales de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu**

Durante las inspecciones de campo en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, ubicadas en Champerico, Retalhuleu, se observaron problemáticas relacionadas con la tala ilegal de mangle perpetrada principalmente por pescadores (ver figura 3). Esta actividad ilícita se atribuye a la falta de conocimiento acerca de las áreas de protección de manglar, en las cuales el Instituto Nacional de Bosques realiza inversiones mediante incentivos forestales. En respuesta a esta situación, los habitantes de las fincas sugirieron la implementación de monitoreos diurnos y nocturnos en las zonas de Bosque de Manglar para mitigar la tala y la caza de animales.

Adicionalmente, se identificó la ocurrencia de incendios forestales, mayormente originados por las comunidades cercanas a las fincas. Estos incendios también se desencadenan debido a la falta de medidas preventivas por parte de los pobladores, quienes incineran sus desechos. Estos problemas generan modificaciones significativas en el paisaje y contribuyen a la disminución de la calidad de vida de los residentes locales.

### Figura 3

Modificaciones en el paisaje de las fincas Esteros de Acapán y Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Durante las visitas de campo a las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán en Champerico, Retalhuleu, se identificaron pozos excavados en ambas propiedades, generalmente están revestidos con piedras, ladrillos u otros materiales para prevenir colapsos estructurales. Dado su escaso nivel de profundidad, oscilando entre 3 a 9 metros, presentan un elevado riesgo de contaminación (ver figura 4).

Se constató un caso de contaminación en la finca Esteros de Acapán, donde se detectó la presencia de la bacteria *Escherichia coli* en el agua del pozo. Esta bacteria indica una contaminación fecal en el agua, representando un riesgo para la salud, ya que puede desencadenar diarrea, infecciones urinarias, enfermedades respiratorias e infecciones del torrente sanguíneo.

**Figura 4**

Pozo excavado de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Durante las inspecciones de campo llevadas a cabo en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, ubicadas en Champerico, Retalhuleu, se evidenció la presencia de botaderos clandestinos. Este problema se origina debido a la ausencia de un sistema adecuado de gestión de residuos por parte de la municipalidad de Champerico, lo que conduce a que los habitantes recurran a la quema de desechos como medida de disposición (ver figura 5).

### Figura 5

Basureros clandestinos dentro de las fincas Esteros de Acapán y Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Elaboración propia (2023)

### **III. Caracterización de experiencias en restauraciones con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.**

#### **3.1. Definición del problema**

En el ámbito de proyectos destinados a la evaluación de sitios degradados, se ha observado una ausencia en la documentación detallada del proceso de restauración. Esta insuficiencia abarca la falta de registros precisos que documenten las acciones ejecutadas durante la implementación de los proyectos y un análisis completo de los costos asociados a estas acciones.

Además, mediante una evaluación del estado de degradación de los sitios con una adecuada caracterización, se proporcionan recomendaciones basadas en datos sólidos para mejorar la gestión de las restauraciones con fines energéticos.

Proporcionando información detallada sobre el proceso de gestión adoptado por las comunidades en las áreas de estudio con respecto a las plantaciones, con el fin de generar información potencial para la réplica de proyectos futuros en áreas de interés de estas comunidades y de otras aledañas.

Dado el problema descrito en párrafos anteriores, se plantearon las siguientes preguntas: ¿cuál es el estado actual del sistema arbóreo en los sistemas de restauración con fines energéticos en las áreas de estudio?, ¿cómo se evalúa el grado de degradación del suelo en restauraciones con fines energéticas? ¿cuál es la capacidad hídrica en las áreas restauradas con fines energéticos? ¿se considera que el proceso adoptado por las comunidades de las áreas de estudio para la gestión de las plantaciones con fines energéticos es el más viable?

### **3.2 Justificación**

Las plantaciones forestales proporcionan una serie de beneficios significativos tanto a nivel ambiental como socioeconómico, con una correcta gestión y planificación que contribuyen a abordar desafíos ambientales globales y a mejorar la calidad de vida de las comunidades.

En años recientes se han identificado casos de deforestación y degradación de los ecosistemas en Guatemala, esto debido a la agricultura insostenible que combina factores sociales, económicos, ambientales y políticos que interactúan de manera compleja, se destacan las prácticas agrícolas no sostenibles, la tenencia de tierras desigual, pobreza rural, el acceso limitado a recursos, la deforestación y degradación del suelo, entre otros. (Rodríguez Rett, A. Sueldo Cruz, S. y Ñontol Antay, O., 2022, párr. 1, 2)

Lo anterior es evidente en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, ubicadas en Champerico, Retalhuleu. En el cual un grupo de familias campesinas fueron seleccionadas por la entidad de Fondo de Tierras para el otorgamiento de crédito para la compra y arrendamiento de tierras del Estado.

Por ese motivo se crearon plantaciones con fines energéticos en ambas fincas, con la finalidad de recuperar elementos de la estructura y función del ecosistema nativo de la región de Champerico, Retalhuleu.

### **3.3 Revisión bibliográfica**

A continuación, se presentan diferentes citas textuales acorde a temas de importancia en el ámbito ambiental, económico y social. En este contexto, la revisión bibliográfica abordará temas clave como el flujo de caja y la rentabilidad de las inversiones en restauraciones, la implementación de parcelas de investigación para monitorear la dinámica de los ecosistemas forestales, así como la capacidad de campo y el punto de marchitez de las especies forestales, aspectos fundamentales para comprender su adaptabilidad y requerimientos hídricos.

### **3.3.1 Restauración**

De acuerdo con el concepto de restauración se entiende como el proceso que ayuda a la naturaleza al restablecimiento de un ecosistema degradado, dañado o destruido, una definición basada en la Society for Ecological Restoration, SER (2004), en la cual trata de ayudar a la naturaleza a regenerarse por sí misma de un modo integral con el objetivo de recuperar ecosistemas sanos, capaces de albergar biodiversidad y de ofrecer de nuevo sus recursos y servicios vitales para la sociedad. (párr. 3, 4)

Se define como la estrategia óptima para la recuperación de la productividad del suelo beneficiando las comunidades locales, de igual forma se recuperan algunos elementos de la estructura y función del ecosistema original. (Borda, 2016, pp. 245, 252)

### **3.3.2 Funcionamiento del paisaje forestal**

La restauración de paisajes es reconocida como una estrategia no solo para recuperar la integridad ecológica, sino también para generar beneficios económicos y sociales a nivel local, nacional y global. La restauración del paisaje forestal productivo es una rama relativamente nueva, que se basa en conocimientos económicos, ambientales y sociales para apoyar la toma de decisiones sobre el uso de los suelos y las inversiones para el manejo sostenible del paisaje. (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015, pp. 1, 4)

La meta trazada a nivel nacional, asumida en la estrategia de restauración, es cumplir con el compromiso de restauración de las 1.2 millones de hectáreas, para que por esta vía se contribuya al desarrollo social, ambiental y económico del país. (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015, pp. 1, 4)

### **3.3.3 Programa de incentivos para establecimiento, recuperación, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala**

El Instituto Nacional de Bosques (INAB), tiene como objetivo promover y fomentar el desarrollo forestal del país mediante el manejo sostenible de los bosques, reducir la deforestación de tierras de vocación forestal, promover la reforestación de áreas forestales actualmente sin bosque e incrementar su productividad. (SIFGUA, 2023, párr. 1)

El estado otorga incentivos por medio del INAB, en coordinación con el Ministerio de Finanzas Públicas, conforme esta ley, a los propietarios de tierras, incluyendo a las municipalidades, que se dediquen a proyectos de reforestación y mantenimiento en tierras de vocación forestal desprovistas de bosque, así como el manejo de bosques naturales y las agrupaciones sociales con personería jurídica, que virtud a arreglo legal, ocupan terrenos de propiedad de los municipios. (PROBOSQUE, 2015, pp.1-10)

### **3.3.4 Especie forestal**

Se denomina especie forestal a toda especie o planta con hábito arbóreo y con tallo leñoso, que se puede encontrar en los bosques naturales y plantaciones forestales. Pueden presentar usos alternos como la producción de resina, así como sustancias básicas para la fabricación de compuestos y sus diferentes usos madereros. (CALAS, 2007, pp. 92-106)

### **3.3.5 Especies forestales con fines energéticos**

De acuerdo con INAB, FAO/FFF (2016), se conoce como una especie forestal con fines energéticos a todo árbol leñoso del cual se puede obtener biomasa con fines energéticos, especialmente leña, estas especies se cultivan por su fácil propagación, rápido crecimiento y la capacidad de rebrote después de la corta, lo que las hace ideales para hacer plantaciones forestales o sistemas agroforestales (SAF's) con el objeto de producir una mayor cantidad de biomasa por unidad de superficie y tiempo. (pp. 2-57)

**Tabla 1**  
Especies forestales nativas según listado de INAB

<b>No.</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>
1	Bucut	<i>Cassia grandis</i>
2	Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>
3	Madrecacao	<i>Gliricida sepium</i>
4	Aripín	<i>Caesalpinia Velutina</i>
5	Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>
6	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>
7	Aliso ó llamo	<i>Alnus acuminata</i>
8	Paterna ó Cushin	<i>Inga spp.</i>
9	Gravilea	<i>Grevilea robusta</i>
10	Encino	<i>Quercus spp.</i>
11	Brasil	<i>Haematoxylon brasiletto</i>
12	Laurel de costa	<i>Cordia alliodora</i>
13	Matilisguate	<i>Tabibuia rosea</i>
14	Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i>
15	Plumajillo	<i>Alvaradoa amorphoides</i>
16	Subín	<i>Acacia famesiana</i>
17	Capulín	<i>Prunus capuli</i>
18	Liquidambar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
19	Flor amarilla o Timboque	<i>Tecoma stans</i>
20	Guachipilín	<i>Diphysa</i>
21	Volador	<i>Terminalia oblonga</i>

**Fuente:** Guía técnica de las especies forestales más utilizadas para la producción de leña en Guatemala. (2016, p. 7)

### **3.3.6 Especies utilizadas en las restauraciones con fines energéticos de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu**

Las especies utilizadas con fines de restauración son seis, las cuales se mencionan a continuación:

### **3.3.6.1 *Gmelina arborea***

Según Obregón Sánchez (2006), es un árbol de rápido crecimiento que alcanza 30 metros (m) de altura, 50 a 80 cm de diámetro del tronco, en ocasiones de hasta 143 centímetros (cm), sin contrafuertes pero en ocasiones engrosado en la base, copa amplia en sitios abiertos.

La madera bajo la corteza es de color amarillo pálido a crema o beige, cuando está fresca, mudando a color marrón amarillento cuando queda expuesta y es suave a moderadamente dura, ligera a moderadamente pesada, brillante cuando está fresca. El fruto tiene hasta 2,5 cm de largo, verde, suave y oscuro, se vuelve amarillo cuando está maduro y tiene un aroma afrutado. (pp. 14-20)

### **3.3.6.2 *Gliricidia sepium***

Según Walpers, W.G. (1842), son árboles pequeños o medianos, que alcanzan un tamaño de 10 a 12 metros de altura, la corteza es lisa y su color puede variar desde un gris blanquecino a un profundo color marrón-rojizo. Tiene hojas compuestas que pueden ser de 30 cm de largo y cada hoja se compone de folíolos que son de 2 a 7 cm de largo y de 1 a 3 cm de ancho. (p. 115)

Las flores se encuentran en el extremo de las ramas que no tienen hojas. Estas flores tienen un color rosa a lila brillante que se tiñe de blanco. Una mancha de color amarillo pálido aparece, por lo general en la base de la flor, el fruto es una vaina de 10 a 15 cm de longitud, de color verde cuando está inmadura y que se vuelve de color amarillo-marrón cuando alcanza la madurez. La vaina produce de 4 a 10 semillas marrones redondeadas. (Torres Bahena, E., 2023, párr. 1)

### **3.3.6.3 *Tabebuia rosea***

Según el INAB, FAO/FFF (2016), es un árbol caducifolio, de porte mediano a grande, de 28 a 37m de altura y de 50 a 100 cm de diámetro. El árbol tiene una copa ancha, que puede ser cónica o irregular con follaje abierto y liviano. Posee corteza gris oscura, escamosa y con fisuras verticales, hojas compuestas, opuestas, con cinco hojitas. Las flores son rosadas, moradas o casi blancas, de 8 cm de largo y hermafroditas; la vaina es linear dehiscente y de color verde oscuro cuando está madura, la que contiene de 240 a 300 semillas aladas por vaina. (pp. 2-57)

### **3.3.6.4 *Caesalpinia velutina***

Según el INAB, FAO/FFF (2016), el aripín es un árbol pequeño, sin espinas, caducifolio, de 10 m a 12 m de alto y de 20 cm a 30 cm de diámetro, tronco recto, con copa amplia y ligera, ramas bajas en condiciones abiertas. La corteza es áspera y gris, y en los árboles grandes se desprende en placas. Las hojas de son de 20 cm a 30 cm de largo, son alternas, pinnadas y algo vellosas. Cada hoja tiene de 2 a 4 pares de pinas y una pina terminal, cada una con 5 a 7 pares de foliolos de 3 cm a 6cm de largo. Posee abundantes flores amarillas en racimos. Sus frutos son vainas muy vellosas de 10 a 15 cm de largo, cuando éstas maduran son café oscuro y cada una contiene de 2 a 10 semillas de 5 a 7 milímetro (mm) de diámetro. (pp. 2-57)

### **3.3.6.5 *Eucalyptus camaldulensis***

De acuerdo con el con INAB, FAO/FFF (2016), los eucaliptos son árboles perennes de porte recto. Pueden llegar a medir hasta 20 m, a veces a 60 m de altura, su ritidoma (corteza) gruesa (3 cm) esponjosa, mezclando los rojizos, grises, verdosos y blancuzcos. (pp. 2-57)

De acuerdo con CSIRO (2004), el eucalipto rojo tiene el ominoso nombre de "Hacedor de viudas", por su capacidad de desrame sin previo aviso, las hojas de los eucaliptos son sésiles, ovaladas y grisáceas. (párr. 8, 9)

El eucalipto rojo es renombrado por su brillante madera rojiza, oscilando entre rosa suave a rojo negruzco, dependiendo de la edad. Es muy quebradizo y generalmente de grano cruzado, haciendo el trabajo manual difícil. Tradicionalmente se usó para aplicaciones de resistencia como vigas, postes, produce excelente leña y carbón. (CSIRO, 2004, párr. 8, 9)

#### **3.3.6.6 *Cedrela odorata***

Según INAB (2017), son árboles de gran tamaño que pueden alcanzar alturas de hasta 30-40 metros y diámetros de hasta un metro. Posee una corteza grisácea y lisa en árboles jóvenes, volviéndose rugosa con el tiempo. Sus hojas son alternas, compuestas y pinnadas, sus flores son pequeñas y de color blanco o amarillento. Los frutos son cápsulas leñosas alargadas, conteniendo numerosas semillas aladas. (pp. 3-8)

#### **3.3.7 Degradación arbórea**

De acuerdo con la FAO (1995), la degradación arbórea no se caracteriza por la disminución de la superficie forestal sino de la calidad de su estado, respecto a uno o a más elementos del ecosistema forestal (estrato vegetal, fauna, suelo, etc.) las interacciones entre estos componentes y, más generalmente, a su funcionamiento. (pp. 1-23)

Según UNECE y FAO. (2000), la ponderación de la degradación tiene numerosos obstáculos, dos principales: Las diferencias de apreciación respecto al estado inicial de referencia: "clímax" o sus diversos sustitutos, estado forestal de conformidad a un modelo de silvicultura preestablecido, etc.; los criterios (con sus indicadores) elegidos: salud y vitalidad, diversidad específica, capacidad de producción de bienes y servicios

comerciales; según que se limite a la fecha actual o que se considere el estado actual como transitorio y que conduzca a otro estado posterior satisfactorio, o mejorado, en comparación con el estado inicial de referencia. (pp. 1-7)

### **3.3.8 Degradación del suelo**

Según Oldeman, L. (1998), se refiere a los procesos inducidos por las actividades humanas que provocan la disminución de su productividad biológica o de su biodiversidad, así como de la capacidad actual y/o futura para sostener la vida humana. (pp. 1, 11)

Los fenómenos de degradación merman la calidad de los suelos, entendida ésta como la capacidad de un específico tipo de suelo para funcionar (dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado para sostener la productividad vegetal y animal), mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana. (Doran, J.W. & Parkin, T.B., 1994, pp. 1, 21)

### **3.3.9 Capacidad hídrica del suelo**

Según Shaxson, F. y Barbar, R. (2005), se refiere a la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y se encuentra entre la Capacidad de Campo y el Punto Permanente de Marchitez. Esto se refleja en la saturación del agua en el suelo lo cual se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. (p. xi, párr. 2)

### **3.3.10 Flujo de caja**

Según Ortiz Anaya, H. y Ortiz Niño, D.A. (2018), es una herramienta financiera, que permite ordenar las entradas y salidas de dinero de la empresa, en un período determinado de tiempo, usada para calcular el saldo de efectivo al inicio y al final de dicho período y tomar decisiones de inversión o financiamiento. (pp. 1-6)

Se elabora con el propósito de registrar los movimientos futuros de dinero provenientes de la operación normal de la empresa, tales como venta de productos o servicios, venta de activos, obtención de préstamos y aportes de los socios o accionistas y de aquellas transacciones que requieren salidas de efectivo como compra de materia prima, compra de activos o pago a proveedores y de obligaciones bancarias. (Ortiz Anaya, H. y Ortiz Niño, D.A. 2018, pp. 1-6)

### **3.3.11 Rentabilidad**

Basado en Mis finanzas para invertir (2023), se basa principalmente en el beneficio económico que aportará un producto o servicio, este análisis inicial es fundamental ya que proporciona proyecciones futuras que determinan la viabilidad de nuestro proyecto antes de su inicio. Este procedimiento nos permite anticipar y evaluar los posibles riesgos asociados con la implementación de este nuevo proyecto. (párr. 2, 3)

### **3.3.12 Parcelas de investigación**

Según Pinelo Morales, G. I. (2000), las parcelas de investigación son la herramienta más eficaz para conocer y monitorear las áreas forestales; proporcionando información sobre las condiciones de los bosques naturales y de las plantaciones, información necesaria para establecer estrategias de manejo, el desarrollo de modelos de crecimiento, la elaboración de tablas de rendimiento en volumen y área basal, los monitoreos biológicos, entre otros. En el establecimiento de parcelas de investigación se deben tener en cuenta aspectos importantes como, los costos y el tiempo requerido, lo cual depende, del tipo, tamaño y número de parcelas, las variables a medir y el número de mediciones. (p. 34)

### **3.3.13 Importancia del levantamiento de las parcelas**

Para llevar a cabo de manera eficiente las actividades silviculturales, se recomienda el levantamiento de las parcelas permanentes y/o temporales de muestreo, con la finalidad de realizar un monitoreo continuo de las variables dasométricas y que posteriormente estos resultados, antes de la aplicación de cualquier tratamiento, se debe estar seguro de que sus efectos contribuyan a cumplir los objetivos deseados, en las condiciones específicas del ecosistema y el marco social y económico. (Camacho Calvo, M., 2000, pp. 1-31)

### **3.3.14 Tipos de parcelas**

Según el tiempo requerido, existen dos tipos de parcelas, aunque tienen fines diferentes, unas pueden complementar a las otras, de manera que, tanto en bosques naturales como en plantaciones se pueden establecer ambos tipos de parcelas. (Pinelo Morales, G. I., 2000, p. 34)

#### **3.3.14.1 Temporales**

Las parcelas temporales se usan primordialmente para la estimación de relación es independientes del tiempo. Sin embargo, esta distinción no es tan clara, ya que existe la posibilidad de determinar relaciones dependientes del tiempo con la información de los anillos de crecimiento, en situaciones donde estos existan. (ONU y FAO, 1980, pp. 5-7)

De acuerdo con Ugalde Arias, L. A. (2000), estas parcelas se miden normalmente una sola vez, aunque si se reubican podrían tener mediciones adicionales de manera que una parcela temporal puede eventualmente convertirse en una parcela permanente. (p.14)

#### **3.3.14.2 Permanentes**

Desde su establecimiento tienen como objetivo principal permitir mediciones por un período largo de años y si se hacen de un tamaño adecuado podrían servir para el seguimiento y evaluar el crecimiento de los árboles hasta el final del turno de corta. (Ugalde Arias, L. A., 2000, p.14)

Es la unidad mínima de muestreo, cuyo tamaño varía con respecto a los objetivos para los cuales es establecida; tiene como objetivo principal permitir mediciones periódicas y seguimiento del crecimiento, y desarrollo de los árboles que quedan dentro de la parcela por un periodo de años que dependerá de la edad de rotación de la especie, producto y calidad de sitio. (INAB, 2012, pp. 11-21)

#### **3.3.15 Tamaño y forma de las parcelas**

El tamaño de las parcelas está definido en función al número de árboles o en base a una superficie de área en metros cuadrados o en metros lineales en el caso de cercas vivas, árboles en líneas o en linderos, varía dependiendo de los objetivos de la investigación, del producto final y de las variables a medir; la forma de las parcelas puede ser variada, en el caso de un inventario de diagnóstico en una plantación comercial a veces se utilizan parcelas temporales circulares, sin embargo en el caso de parcelas permanentes en plantaciones con espaciamientos regulares, es más común utilizar parcelas rectangulares o cuadradas; facilitando la ubicación, la demarcación permanente y el sentido de medición de los árboles en mediciones consecutivas a largo plazo. (Ugalde Arias, L. A., 2000, p.14)

#### **3.3.16 Capacidad de campo**

Según Israelsen Orson, W. y West, Frank L. (1922), es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice. (pp. 3, 23)

### **3.3.17 Punto de marchitez permanente**

De acuerdo con Shaxson, F. y Barbar, R. (2005), se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, el suelo se siente casi seco o muy ligeramente húmedo. (p. xi, párr. 2)

## **3.4 Objetivos**

### **3.4.1 General**

- Caracterizar las experiencias de restauración con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.

### **3.4.2 Específicos**

- Identificar el estado actual del componente arbóreo en los sistemas de restauración con fines energéticos en ambas áreas de estudio.
- Evaluar el grado de degradación del suelo de acuerdo con la metodología del INAB en ambos sitios de estudio.
- Evaluar la capacidad hídrica en áreas restauradas con fines energéticos en ambos sitios de estudio.
- Calcular el costo-beneficio del proyecto de restauración con fines energéticos en ambas áreas.

## **3.5 Materiales y métodos**

A continuación, se presenta una amplia gama de recursos materiales, logísticos, humanos y digitales para llevar a cabo evaluaciones de diversos aspectos relacionados con la salud y la funcionalidad de los ecosistemas forestales.

### **3.5.1 Materiales**

Los recursos se dividieron en humanos, logísticos, materiales y equipo así como digitales.

**Cuadro 8**  
Materiales y recursos utilizados en la investigación

<b>Recursos humanos</b>					
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio por día</b>	<b>Precio total</b>	<b>Observaciones</b>
5	Residentes del área	Q101.05	Q505.25	Q505.25	Conocedores de las áreas de las fincas.
3	Obrero forestal	Q287.00	Q861.00	Q1,722.00	Experiencia en medición de variables dasométricas.
1	Consultor (Rainforest Alliance)	Q320.00	Q320.00	Q960.00	Conocedor de las áreas de las fincas.
1	Estudiante de epsigal, USAC	Q116.67	Q116.67	Q466.00	Estudiante que realizo dicha investigación en campo.
<b>Total</b>		Q824.72	Q1,802.92	<b>Q3,653.25</b>	
<b>Recursos utilizados en logística</b>					
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio por día</b>	<b>Precio total</b>	<b>Observaciones</b>
10	Agua Pura	Q5.00	Q50.00	Q250.00	Para consumo del equipo de trabajo
5	Alimentación	Q60.00	Q300.00	Q1,500.00	Para consumo del equipo de trabajo
<b>Total</b>		Q65.00	Q350.00	<b>Q1,750.00</b>	
<b>Materiales y equipo</b>					
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio por día</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio total</b>	<b>Observaciones</b>
1	Libreta para anotaciones		(Ya se cuenta con dicho equipo)		Para anotaciones de campo
1	Lapicero		(Ya se cuenta con dicho equipo)		Para anotaciones de campo
100	Impresiones	N/A	Q1.00	Q100.00	Boletas de registro, entrevistas y talleres.
15	Combustible (galón)	N/A	Q37.50	Q562.50	Para vehículo
12	Bolsas plásticas	N/A	Q.1.00	Q.12.00	Para muestras del suelo
2	Análisis de suelo (CC, PMP, Da)	N/A	Q.480.00	Q.960.00	Muestras de suelo
1	Botiquín de primero auxilios		(Ya se cuenta con dicho equipo)		Para uso en caso de emergencias
1	Cinta Métrica		(Ya se cuenta con dicho equipo)		Para medición de alturas
1	Equipo de cómputo		(Ya se cuenta con dicho equipo)		(Marca Apple "MackBook Air")
2	Cubetas		(Ya se cuenta con dicho equipo)		Para muestras del suelo
1	Marcador permanente		(Ya se cuenta con dicho equipo)		Para rotular
1	Horno de convección		(Ya se cuenta con dicho equipo)		Para secar muestra de hojarasca y maleza.
<b>Total</b>			Q519.50	<b>Q1,634.50</b>	
<b>Recursos digitales</b>					
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio por día</b>	<b>Costo total</b>	<b>Observaciones</b>
1	Software ® Excel y Word	Q469.99	Q1.28	Q78.08	Licencia Anual
1	Software ArcGIS ® 10.8	Q769.48	Q2.10	Q128.10	Licencia Anual
1	Software Google Earth Pro ®	Q0.00	N/A	Q0.00	Licencia de libre uso
1	Software QGIS-LTR ®	Q0.00	N/A	Q0.00	Licencia de libre uso
<b>Total</b>		Q1,239.47	Q3.38	<b>Q206.18</b>	

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

### **3.5.2 Métodos**

#### **3.5.2.1 Identificación del estado arbóreo**

##### **a. Fase de campo**

Se realizó un muestreo en los proyectos de restauración con fines energéticos en el cual se utilizó la guía de campo para evaluar la degradación arbórea elaborada por INAB (2022), esta metodología permitió una orientación adecuada para mediciones y análisis de los indicadores, permitiendo así obtener un conocimiento preciso sobre el estado y las condiciones de dichas plantaciones. (pp. 3-26)

Se inició el proceso con la elaboración de un mapeo detallado del área correspondiente a las parcelas destinadas al muestreo. Para la identificación precisa de los puntos dentro de estas parcelas, se empleó la aplicación MAPinr donde se utilizó coordenadas Universal Transverse Mercader (UTM) que requieren ser convertidas a Guatemala Transversa Mercator (GTM). A través del software ArcGIS 9.3, se generaron polígonos que permiten la realización de diversas funciones, tales como la creación de mapas, cálculos de áreas y la superposición de imágenes aéreas de alta resolución. Una vez completado el mapeo del sitio, se procedió a la generación de puntos aleatorios dentro de los polígonos con el propósito de establecer los puntos de muestreo. El número de puntos generados fue determinado en base al tamaño del polígono, con una intensidad de muestreo mínima equivalente al 0.5% del área total.

En el área de estudio de Brisas del Mar se establecieron 24 parcelas circulares, cada una con un radio de 6.91 metros y un área de 150 metro cuadrado (m<sup>2</sup>). Por otro lado, en el área de Esteros de Acapán se dispusieron 7 parcelas circulares. (Ver anexo 3, figuras 32 y 33)

Se procedió a recolectar los datos de campo de cada parcela circular utilizando la boleta de campo (ver anexo 4, tabla 16), la cual recopila información detallada sobre distintos indicadores, estos incluyen:

- La especie.
- Altura (la cual se debe medir desde la base del árbol hasta el ápice superior de crecimiento).
- Daño mecánico (registra cualquier anomalía que se detecte en los árboles producidos por un problema fitosanitario, un mal manejo en su etapa final de producción en el vivero, en la comercialización, etc., se registra como: (1) sin daños visibles y (2) con algún daño visible).
- Estado fitosanitario (registra presencia de cualquier problema fitosanitario como exudados, perforaciones, marchitamientos severos, etc., se registra como: (1) Sano (2) Aceptablemente sano (3) Enfermo).
- Mortalidad (registra la ausencia de un plantón en el punto exacto donde se deberá encontrar, de acuerdo con el espaciamiento vigente, se registra como: (1) plantón presente y vivo (2) plantón ausente o muerto en pie).

#### **b. Fase de gabinete**

Posteriormente se calcularon los parámetros de frecuencia y estado sanitario utilizando las fórmulas:

→ Fórmulas de frecuencia

$$Frecuencia\ absoluta = \frac{No.\ parcelas\ en\ las\ que\ aparece\ la\ especie\ i}{Total\ de\ parcelas} \times 100$$

**Fuente:** Guía de campo para evaluar la degradación arbórea elaborada por INAB (2022, pp. 3-26).

$$Frecuencia\ relativa\ (\%) = \frac{Frecuencia\ absoluta\ de\ la\ especie\ i}{\Sigma Frecuencias\ absolutas} \times 100$$

**Fuente:** Guía de campo para evaluar la degradación arbórea elaborada por INAB (2022, pp. 3-26).

→ Fórmula de estado sanitario

$$\text{Estado sanitario (\%)} = \frac{\text{No. individuos por estado sanitario}}{\Sigma \text{Estados sanitario}} \times 100$$

**Fuente:** Guía de campo para evaluar la degradación arbórea elaborada por (INAB 2022, pp. 3-26).

### 3.5.2.2 Degradación del suelo

#### a. Captación de carbono

##### a.1. Fase de campo

En este proceso se utilizó la metodología por Castellanos E. (2010), para estimar el carbono en ecosistemas terrestres se basa en los procedimientos para realizar un inventario forestal, los cuales fueron adaptados para estimar el total de biomasa en base al volumen de madera total. (pp. 6-19)

Se utilizó una intensidad del muestreo de 0.5% de la superficie total forestal, en donde se realizaron 2 parcelas circulares aleatorias por hectárea, con 24 parcelas en el área de Brisas del Mar y 7 parcelas en el área de Esteros de Acapán (ver anexo 3, figuras 32 y 33), seguidamente se levantaron los datos de campo de cada parcela circular (ver anexo 4, tabla 19) la cual está formada por la combinación de las subparcelas anidadas, usando el radio y área según la Tabla 2.

**Tabla 2**

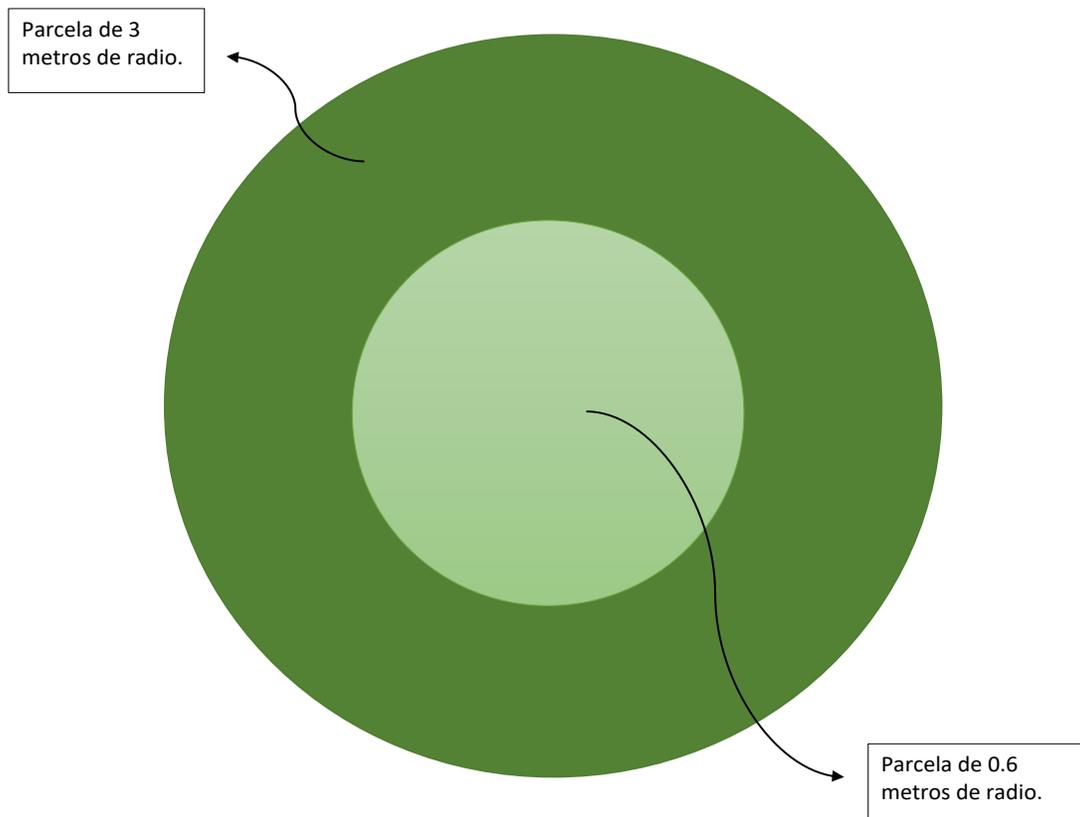
Tamaños y componentes de carbono evaluados en cada subparcela

Subparcela	Dimensión / Área	Componente evaluado
	Circular	
<b>1ra. Subparcela</b>	R=0.6m A=1m <sup>2</sup>	Maleza, hojarasca y el suelo.
<b>2da. Subparcela</b>	R= 3m A=28m <sup>2</sup>	Árboles jóvenes y arbustos (diámetro y altura)

**Fuente:** Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala por Castellanos E. (2010, pp. 6-19)

**Figura 6**

Parcelas circulares de muestreo para la medición de carbono



**Fuente:** Elaboración propia (2023)

**Nota:** Las parcelas usadas por el CEAB-UVG son más pequeñas que las que sugiere el IPCC. Sin embargo, ellos mismos hacen hincapié en que las dimensiones pueden variar tomando en cuenta la topografía o dificultad de los terrenos, pero siendo más pequeñas el número de parcelas debe de aumentar para alcanzar el área de muestreo deseada.

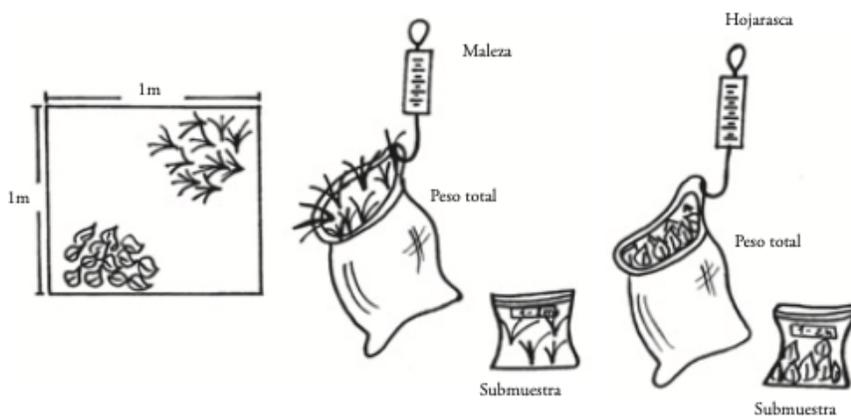
a) **Primera subparcela:** Los componentes como la maleza, hojarasca y suelo se muestrean en la primera subparcela de  $1\text{m}^2$ . De primero se colecta todo el material vegetal vivo dentro del área establecida para luego juntar la hojarasca. El total de estos

componentes se pesa individualmente. El peso obtenido se conoce como el peso húmedo total. Una pequeña muestra de cada componente es colectada para determinar el contenido de humedad en el laboratorio para calcular la biomasa seca y por último el carbono (ver figura 7). Se determinó el porcentaje de materia seca, colocando las muestras en un horno de convección, a temperaturas bajas y constantes previniendo la quema de estas.

Se pesó la muestra en campo para conocer el peso húmedo, las cuales se colocaron en bolsas de papel para su traslado al laboratorio en donde las muestras se ponen en un horno de convección de 65°C durante 24 horas. Esta temperatura es la conjugación a las recomendadas por otros grupos Avoided Deforestation Partners (2009, 145p.), pero esto asegura que las muestras se mantengan en buenas condiciones durante el proceso de secado. Con este dato y el peso húmedo original de la muestra se determina el porcentaje de materia seca.

**Figura 7**

Separación, peso húmedo total y colecta de muestras de la maleza y hojarasca en la primera subparcela



**Fuente:** Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala por Castellanos E (2010, pp. 6-19).

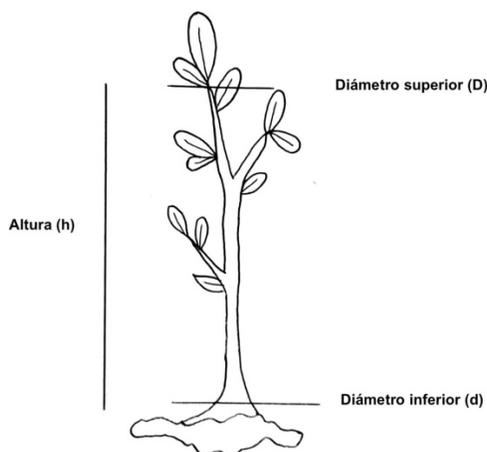
**b) Segunda subparcela:** En esta subparcela se miden los árboles y arbustos, en donde se toma el diámetro de la base inferior (D), el diámetro de la base superior (d) y altura (h). La fórmula de volumen de Smalian (1837), permite calcular el volumen de madera que contiene una troza (17p.).

$$V = \frac{\pi}{4} \times \frac{(D + d)^2}{2} \times h$$

**Fuente:** Smalian (1837, 17 p.)

**Figura 8**

Imagen representativa de la toma de diámetros y altura



**Fuente:** Elaboración propia (2023)

### **a.2. Fase de gabinete**

→ **Estimación del volumen en metro cúbico por hectárea (m<sup>3</sup>/ha) para transformarlo a toneladas de carbono por hectárea (tC/ha)**

Se estimó el volumen total expresado en metros cúbicos por hectárea (m<sup>3</sup>/ha) realizando la suma de las 0.0672 ha que se muestrearon, en donde se procedió a separarlos por especie para tener un volumen individual en m<sup>3</sup>, su total se estimó mediante una regla de tres con la finalidad de cuantificar el volumen total del área, tal como se detalla a continuación:

$$\frac{\text{Volumen por especie}}{\text{¿Volumen total por especie?}} \times \frac{\text{No. de árboles muestreados por especie}}{\text{No. de árboles totales por especie}}$$

Posteriormente se realizó una sumatoria de los resultados de volumen total por especie en m<sup>3</sup>.

De acuerdo a la guía práctica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal Russo, R. (2009). Una vez, habiendo obtenido el valor del volumen total por hectárea (Vol., m<sup>3</sup>/ha), se procede a calcular el contenido de carbono en la biomasa aérea, que es el producto del volumen multiplicado por el contenido de materia seca (% MS, se consideró 50%) y por el contenido de carbono (C) en la materia seca (MS) (%C = 50% aceptado por el IPCC), a la cantidad resultante de “C” se aplica el factor de extensión de la biomasa (FEB) igual a 1.6 considerando un 60% adicional de contenido en ramas y follaje (en la literatura este factor se menciona con rango entre el 60% y el 90%) (pp. 3-9), tal como se detalla a continuación:

$$\text{Carbono} = \text{Vol. m}^3 \times 0.5 \times 0.5 \times 1.6$$

#### → **Determinación del contenido de humedad del material vegetal**

Para determinar el porcentaje de materia seca, las muestras se colocan en un horno de convección, a temperaturas bajas y constantes previniendo la quema de estas, con este dato y el peso húmedo original de la muestra se determina el porcentaje de materia seca.

Ya teniendo los datos anteriores se estimó la biomasa seca teniendo el peso húmedo y seco de las muestras vegetales, el cociente que se obtiene de la siguiente ecuación representa el porcentaje de materia seca:

$$MS = PS/PH$$

Donde:

MS = materia seca de la muestra;

PS = Peso seco de la muestra (g);

PH = Peso húmedo de la muestra (g).

**Fuente:** Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala por Castellanos E. (2010, pp. 6-19).

La conversión del peso húmedo de campo a biomasa se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$BT = PHc \times MS$$

Donde:

BT = Biomasa total Seca (Kg.) de la hojarasca y maleza.

PHc = Peso húmedo total registrado en campo (Kg.);

MS = materia seca de la muestra.

**Fuente:** Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala por Castellanos E. (2010, pp. 6-19).

→ **Densidad de carbono y contenido total de carbono en maleza y hojarasca.**

La conversión de biomasa seca a carbono se hace utilizando el factor de conversión estándar de 0.5 (IPCC, 2003). El uso de este factor es ampliamente encontrado en la literatura. El error que resulta de utilizar el 0.5 es insignificante al compararlo con el error que surge del uso de las ecuaciones genéricas de biomasa y la variabilidad natural del bosque. Para la maleza y hojarasca medidas en la parcela pequeña, el contenido de carbono es convertido a toneladas para luego dividirlo dentro del área de muestreo, en hectáreas, usando la ecuación:

$$\frac{tC}{ha} = \frac{\left( BT \times \frac{0.5}{1000} \right)}{\text{Área parcela (ha)}}$$

**Fuente:** Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala por Castellanos E. (2010, pp. 6-19).

La ecuación anterior, se conoce como densidad de carbono, el cual se promedia con el resultado de las otras parcelas. Este promedio es utilizado para calcular el *contenido de carbono total* en estos componentes multiplicándolo por el área total de la restauración, como se puede observar en la ecuación:

$$CT_{m-h} = \text{Densidad de carbono} \times \text{área total de la restauración}$$

**Fuente:** Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala por Castellanos E. (2010, pp. 6-19)

→ **Densidad de carbono y contenido total de carbono en los suelos**

La densidad aparente del suelo se obtuvo mediante un análisis por la entidad de Anacafé realizado el presente año (la cual se menciona en el inciso 3.5.2.2 sección b.1. de este documento) en donde se obtuvo una ponderación de 1.33 gramos por centímetro cúbico (g/cc) en Esteros de Acapán y 1.26 g/cc en Brisas del Mar. De igual manera se estimó el nivel de carbono con el método de Walkler-Black por la entidad de Anacafé realizado por la Inga. Yerlyn Mus el presente año, en donde se obtuvo un porcentaje de 0.94 en Esteros de Acapán y 4.57 en Brisas del Mar.

Para calcular la densidad de carbono en el suelo se usa la ecuación:

$$tC/ha_s = Prof. \times D \times \%CO$$

Donde:

tC/ha<sub>s</sub> = Densidad de carbono en el suelo, en los primeros 10 cm de suelo (tonC/Ha));

Prof. = Profundidad del muestreo (cm);

D = Densidad (g/cm<sup>3</sup>);

%C.O. = Contenido porcentual de carbono orgánico en el suelo.

**Fuente:** Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala por Castellanos E. (2010, pp. 6-19)

Para obtener carbono total en suelos, el promedio de la densidad del suelo se multiplica por el total del área de la restauración, como en la ecuación:

$$CT_{m-h} = \text{Densidad de carbono} \times \text{área total de la restauración}$$

**Fuente:** Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala por Castellanos E. (2010, pp. 6-19).

### → Contenido total de carbono en la restauración

Con el fin de obtener la cantidad total de carbono en la superficie de la restauración, la cantidad del carbono estimado por cada componente se debe sumar:

$$CTb = CTm + CTh + CTa + CTs$$

Donde:

CTb = Carbono total en el bosque (toneladas);

CTm = Carbono total en la maleza;

CTh = Carbono total en la hojarasca;

CTa = Carbono total en los árboles;

CTs = Carbono total en el suelo.

**Fuente:** Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala por Castellanos E. (2010, pp. 6-19).

## b. Fertilidad

### b.1. Recolección de información

Se realizó una revisión de estudios previos dentro de las plantaciones, como el informe de análisis de suelo de macro y micronutrientes de las plantaciones con fines energéticos de Brisas del Mar y Esteros de Acapán, elaborado por Inga. Yerlyn Mus en la institución de ANACAFÉ (ver anexo 1, figura 27), el informe contiene los resultados de parámetros como el potencial de hidrógeno (pH), fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, azufre, cobre, hierro, manganeso, cinc, materia orgánica.

## **c. Degradación del suelo**

### **c.1. Fase de campo**

Se realizó la clasificación de degradación del suelo en el área de las restauraciones con fines energéticos, este proceso utilizó la guía de campo para la clasificación de degradación del suelo elaborada por. (INAB, 2023, pp. 1-7)

Se seleccionaron seis puntos aleatorios (ver anexo 3, figuras 34 y 35) en Brisas del Mar y tres puntos aleatorios en Esteros de Acapán en donde se llevaron a cabo calicatas, según lo estipulado en la guía de criterios y parámetros técnicos, para la evaluación del bosque latifoliado en la modalidad de restauración de tierras forestales degradadas, en el marco de la Ley PROBOSQUE suelo elaborada por. (INAB, 2022, pp. 1-36)

Posteriormente, se levantaron los datos de campo con la boleta de campo (ver anexo 4, tabla 17) la cual recopila información detallada sobre distintos indicadores. Estos incluyen la textura (en donde se realizó una calicata de 20\*20cm con una profundidad de 30cm) donde se extrajo una muestra la cual se manipulo ya humedecida para recrear las figuras indicadas (ver anexo 5, figura 42), se tienen diferentes ponderaciones según el tipo de amasado que se pueda crear. (Ver anexo 5, tabla 22)

- La porosidad: utilizando la muestra anterior según las imágenes de referencia (donde se observaron el mayor número de macro poros (espacios libres dentro de los terrenos) y la menor cantidad de microporos (la presencia de microporos y macro poros dentro de los terrenos que se encontraban en la misma proporción). (Ver anexo 5, figura 43)
- La compactación: utilizando una pala o un machete se determinó la compactación del suelo (al levantarlo y sacudirlo se desmorona con facilidad), (tiene una resistencia moderada a la penetración del machete) y (tiene una alta resistencia a la penetración del machete).
- La erosión: utilizando una imagen de referencia (ver anexo 5, figura 44), se determinó la ausencia de erosión (laminar/surcos (erosión hídrica)), (las cárcavas) y 2 o más de las anteriores (laminar o cárcavas).

→ La profundidad: ya realizada la calicata se midió la profundidad del suelo A (ver anexo 5, figura 45), utilizando una cinta métrica en donde el rango de >20 cm de profundidad de horizonte A la profundidad es buena, de 10 a 20 cm de profundidad del horizonte A, la profundidad es moderada y < 10 cm de profundidad de horizonte A la profundidad es pobre.

### **c.2. Fase de gabinete**

Se sacó un promedio de las muestras cuyo resultado fue utilizado para la obtención de rango que podrá ser utilizado para clasificar la degradación del suelo.

**Tabla 3**

Clasificación de la degradación del suelo.

<b>Tipo</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Rango</b>
<b>A</b>	Incipiente	15
<b>B</b>	Intermedia	12 a 14
<b>C</b>	Severa	7 a 11
<b>D</b>	Muy severa	4 a 6

**Fuente:** Guía de campo para la clasificación de degradación del suelo por INAB (2023, pp. 1-7)

### **3.5.2.3 Capacidad hídrica**

#### **a. Recolección de información**

Se solicitó los datos de precipitación, temperatura, radiación solar, duración del día y evapotranspiración de las estaciones del municipio de Champerico del departamento de Retalhuleu con un registro histórico de por los menos 10 años al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala.

## **b. Identificación de unidades de mapeo**

Se elaboró el shape del área de estudio utilizando el instructivo para la determinación de categorías de recarga hídrica elaborado por Zamora Arrué, V. M. (2020, pp. 7-14), posteriormente del recorrido de campo, en donde se verifican linderos y coordenadas mediante georreferenciación. Se debe cortar el área de estudio según las subcuencas que estén cerca del área, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Cargar el shape de geología en el mapa temático, esto sirve para determinar si el medio permeable es poroso o fisurado. Además, distingue el relieve para precisar la pendiente del terreno y la clase de suelo, que es importante en los procesos de infiltración, el escurrimiento, la humedad del suelo y la recarga (se debe de cortar según las subcuentas).
- Cargar el shape de suelos en el mapa temático, según el INAB compara la tasa de infiltración básica como una variable para definir tipo de suelo, ya que está tiene influencia en la velocidad con la cual el agua penetra en las primeras capas del suelo (mientras mayor sea esa tasa de infiltración mayor será la oportunidad de las precipitaciones de infiltrar en el perfil del suelo) (se debe de cortar según las subcuentas).
- Cargar el ráster de cobertura en el mapa temático, según el INAB utiliza la cobertura vegetal como una de las variables para determinar el coeficiente de infiltración lo que a su vez sirve para determinar la precipitación efectiva, la cual se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrarse en el suelo y que se encuentra disponible para ser utilizada por la raíces de las plantas o para recargar al acuífero, se debe de utilizar la barra de tarea de Draw para crear un cuadro sobre el área ubica en las subcuencas, ya teniendo el cuadro se utilizo Xtools Pro - Feature conversions - Conver Graphics to Shapes se guardó y buscó Extract donde se subió el raster de cobertura y el cuadro creado con Xtools Pro, seguidamente se guardó y cortó según las subcuencas.
- Para la sumatoria de suelos+geología+cobertura se utilizó Convert (Feature to raster) para realizar la conversión y nombre de archivo en el cual el proyecto (shape) entiende números, el equipo y el software ya dieron el valor cuando se pasó a ráster, entonces solo se verifica que valor le asigna a cada serie. Se utiliza

Reclassify para clasificar las sumas de las capas. Finalizando con Raster Calculator en donde se suman suelos+geología+cobertura.

- Ya teniendo el ráster unificado con las sumatorias se procedió a convertir el ráster a shape utilizando Convert raster to feature colocando en Input el raster unificado y el Field (VALUE).
- Se realizó un corte del área con Clip Analyst de las unidades preliminares y el área de estudio. Sin búfer.
- Se desactivaron todos y se cambiaron los colores (dando doble clic y en categoría se seleccionó GRICODE).
- Ya seleccionadas las áreas de estudio se realizó el “Mapa de categorización de recarga hídrica de la restauración con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu” para guardarlo se utilizó DATA – EXPORT\_DATA – y se coloca nombre. El mapa contiene un shape solo de la subcuenca, las unidades de mapeo y el área de estudio.

### **c. Fase de campo**

#### **c.1. Toma de muestras para análisis de suelo**

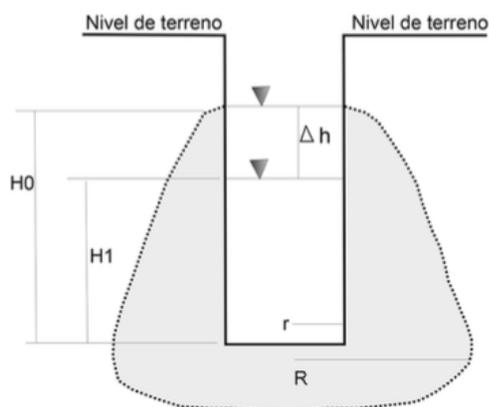
Este proceso se realizó en conjunto con la actividad de clasificación de degradación del suelo, por el motivo que la actividad ya tiene calicatas en seis puntos estratégicos de Brisas del Mar y tres puntos en Esteros de Acapán, se llevó a cabo la toma de datos de las áreas de estudio las cuales son de 20\*20 cm con una profundidad de 30cm, en cada calicata se recolectaron muestras de suelo a intervalos de dos centímetros. Estas muestras fueron mezcladas homogéneamente hasta alcanzar un total de 1 kilogramo, identificándolas con el nombre del área de estudio. Posteriormente, se enviaron al laboratorio de ANACAFÉ ubicado en San Bernardino, Suchitepéquez, para su análisis con el fin de obtener resultados relacionados con la densidad aparente, densidad de partículas, porcentaje de porosidad del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez permanente

### c.2. Prueba de infiltración de las áreas de estudio

En este proceso se utilizó la guía para el cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos elaborada por Schosinsky N. (2006, pp. 34,35), la cual orienta en la determinación de la capacidad de infiltración utilizando el método de Porchet, éstas se realizaron en puntos específicos de las áreas de estudio durante la época lluviosa (ver anexo 3, figuras 36 y 37), la cual tienen un promedio de 1398.2 milímetros de su precipitación anual según el INSIVUMEH, el método consiste en la excavación o perforación de un agujero cilíndrico de 30\*30 cm con una profundidad de 50cm, el cual se le inyecta agua en uno o varios ciclos para saturar el terreno circundante. Posterior a la saturación, se agrega una capa de grava fina de 5 cm y se inyecta un volumen de 30cm de agua para alcanzar una altura de agua inicial en el agujero  $H_0$  (Figura 9), seguidamente se procedió a medir a cada 5 minutos durante dos horas, la disminución del nivel del agua hasta alcanzar una tasa de decaimiento estable. (Ver anexo 4, tabla 18)

**Figura 9**

Ensayo de Porchet



**Fuente:** Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, Revista geológica de América Central, Schosinsky N., G. (2006, pp. 34, 35)

#### **d. Fase de gabinete**

##### **d.1. Método de Horton (capacidad de infiltración)**

Como primer proceso se tabularon los datos obtenidos con el método de Porchet, en donde se tomó el tiempo (a cada cinco minutos) durante dos horas para determinar (el tiempo mínimo acumulado).

El tiempo acumulado en horas se realizó mediante una división del tiempo acumulado en minutos transcurridos por 60 minutos que tiene una hora.

Se identificó la disminución de la lámina de infiltración en cm del nivel de agua por cada cinco minutos, la cual fue de utilidad para realizar la lámina de infiltración acumulada en cm en donde se sumó la disminución anterior con la actual para llevar un acumulado de lo infiltrado durante las dos horas.

La capacidad de infiltración se obtuvo con los datos de (la lámina de infiltración en cm) dividido dentro de los 5 minutos lo cual se multiplica por 60 minutos, esto procedería a ser ( $f_p$ ).

El logaritmo natural de ( $f_p - f_c$ ) se obtiene mediante la fórmula  $\ln(f_p - f_c)$ ,  $f_p$  es la capacidad de infiltración y  $f_c$  es la menor cantidad de infiltración en (cm/h).

Se realizó la gráfica de dispersión para representar la capacidad de infiltración y la lámina de infiltración acumulada por el tiempo acumulado en horas, para observar el decrecimiento de la capacidad de infiltración hasta llegar a un punto constante.

Posteriormente se realizó la gráfica de dispersión del logaritmo natural de ( $f_p - f_c$ ) para determinar  $K$ , en donde se utilizó el tiempo acumulado en horas y los datos de logaritmo natural, se colocó la línea de tendencia y la representación del gráfico, la fórmula para entender la ecuación es:

$$\ln(f_p - f_c) = \ln(f_o - f_c) - k$$

Donde:

El resultado que tiene (x) el valor de “k” según la gráfica de dispersión.

El logaritmo natural de  $(f_0 - f_c)$  es el resultado posterior de (x).

$F_0$  es la suma del exponente aplicado a la base de ln  $(f_0 - f_c)$

$F_c$  que es la menor cantidad de capacidad de infiltración en (cm/h).

**Fuente:** Hidrología Aplicada: Infiltración y humedad del suelo por Ruiz R., E. y Martínez S., M. (2016, 12 p.).

La fórmula para determinar la capacidad de infiltración al día es:

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

Donde:

$F_c$ : Es la menor cantidad de capacidad de infiltración en (cm/h)

$(f_0 - f_c)$ : Es el exponente aplicado a la base de ln  $(f_0 - f_c)$

K: se encuentra realizando la gráfica de dispersión de Ln  $(f_0 - f_c)$

T: es el tiempo que se determinó para estimar la cantidad de infiltración.

**Fuente:** Hidrología Aplicada: Infiltración y humedad del suelo por Ruiz R., E. y Martínez S., M. (2016, 12 p.)

## d.2. Balance hídrico

Como primer proceso se ordenaron los datos de precipitación, temperatura, radiación solar, duración del día y evapotranspiración provenientes de la estación meteorológica del municipio de Champerico, se realizó la tabulación de los mismos en la hoja de cálculo para determinación de balance hídrico elaborada por INAB (2020), las estaciones del INSIVUMEH cuentan con datos de 10 años (enero 2,012 – diciembre 2,022).

Después de recopilar los datos de los análisis de suelo realizados por Anacafé (2023), (ver anexo 1, de la figura 28 a la 31) en el área de las restauraciones con fines energéticos, así como la información proporcionada por INAB (2020) en la hoja de cálculo para la determinación del balance hídrico, se procedió a tabular una serie de datos relevantes. Estos incluyeron las áreas de estudio en m<sup>2</sup> (Brisas del Mar 122,300 m<sup>2</sup> y Esteros de Acapán 34,500 m<sup>2</sup>), la textura del suelo (arcillosa), la capacidad de infiltración (Brisas del Mar 10.11 mm/d y Esteros de Acapán 13.11 mm/d), factores por pendiente y vegetación, así como estimaciones basadas en pruebas de infiltración y densidad de suelo. (6 p.)

Además, se incluyeron mediciones como la profundidad de raíces, la humedad del suelo inicial, el número del mes de inicio (7), la lluvia retenida, la capacidad de campo, el punto de marchitez y el rango de agua disponible para cada área. Estos datos fueron esenciales para llevar a cabo el cálculo del balance hídrico utilizando la metodología de Schosinsky N. (2006, pp. 34, 35)

Este análisis permitió obtener una serie de resultados importantes, incluyendo la precipitación media mensual, la retención de lluvia, la precipitación que se infiltra, la escorrentía superficial, la evapotranspiración potencial y real, la humedad de suelo final, el déficit de capacidad de campo, la recarga potencial y la necesidad de riego.

#### **3.5.2.4 Cálculo del costo de los proyectos**

##### **a. Recolección de información**

Se llevaron a cabo entrevistas (ver anexo 2, entrevista 1) y reuniones informales con las entidades que participaron en el proceso de las restauraciones, en las cuales se encontraban Fondo de Tierras, Universidad Rural, Rainforest Alliance, Ingenio Magdalena, Instituto Nacional de Bosques, Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático y las comunidades de Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.

Se solicitó a las entidades involucradas, información sobre el proceso de la restauración con fines energéticos en los sitios de estudio, entre dicha información, se mencionaron, las técnicas de plantación utilizadas, especies seleccionadas para las siembras, visitas técnicas realizadas, insumos utilizados, herramientas utilizadas, asistencia técnica profesional, mano de obra, viáticos y la depreciación de vehículos. Asimismo, se consultó el costo de cada actividad realizada en cada una de las restauraciones.

Asimismo, fue importante verificar los planes de manejo forestal de ambas restauraciones energéticas, los cuales se encuentran registrados en la subregión IX-3 de la oficina de INAB en Retalhuleu, recolectando información representativa sobre datos del solicitante, de la entidad, de notificación, del terreno, de la descripción biofísica del área, los requerimientos de las especies a utilizar en la plantación forestal (fisiográficos, suelos, factores limitantes y clima), objetivos de la plantación, justificación, propuesta técnica para el establecimiento, método utilizada de la plantación, cronograma de actividades y mapas.

#### **b. Fase de gabinete**

Se utilizó la información sobre el proceso de las plantaciones con fines energéticos en los sitios de estudio, en los cuales se mencionaron las técnicas de plantación utilizadas, especies seleccionadas para las siembras, visitas técnicas realizadas, insumos utilizados, herramientas utilizadas, asistencia técnica profesional, mano de obra, viáticos y la depreciación de vehículos en conjunto con el costo de cada actividad realizada en las restauraciones (la cual se menciona en el inciso 3.5.2.4 sección "a" de este documento).

En esta fase fue necesario la utilización de un equipo de cómputo para el uso del software Microsoft® Excel, en el cual se tabularon los datos de la inversión del 2,020 al 2,023 de forma digital, para distribuir los costos por actividad en el proceso de las plantaciones con fines energéticos como las visitas técnicas realizadas, insumos

utilizados, herramientas utilizadas, asistencia técnica profesional, mano de obra, viáticos y la depreciación de vehículos. (Ver anexo 4, tabla 20)

Se llevó a cabo la proyección de los gastos relacionados con las actividades de mantenimiento anual planificadas para las plantaciones con fines energéticos desde el año 2024 hasta el 2028. Esta proyección se fundamentó en los incentivos forestales proporcionados por PROBOSQUE, considerando diferentes fases y montos. (Ver cuadro 9)

Además, se incluyeron los costos del motosierrista (Q60.00 por metro cúbico) y el transporte de un metro cúbico de leña hacia el núcleo de la comunidad (Q50.00) para los años 2026, 2027, 2032 y 2037, destinados a las actividades de poda y raleo.

En el caso del crédito subsidiado por la compra de la tierra, se pagará durante diez años con cinco meses, estimando el pago anual de Brisas del Mar en 50,227.20 quetzales, lo que equivale a un monto mensual de 4,185.60 quetzales, y en Esteros de Acapán fue de 49,282.56 quetzales, lo que supone un monto mensual de 4,106.88 quetzales. (Fondo de Tierras, 2016, pp. 1-12)

Se llevó a cabo la proyección de ingresos basada en los planes de manejo forestal, los cuales detallan las actividades planificadas para el futuro. Estas proyecciones consideran que las plantaciones con objetivos energéticos comenzarán a generar ingresos por la venta de leña cuatro años después de su establecimiento, valorando cada metro cúbico de leña en Q210.00. (Ver anexos 2, entrevistas 2 y 3)

Las actividades proyectadas incluyen una poda del 10% en el año 2026, un raleo del 15% en el año 2027, otro raleo del 10% en el año 2032 y, finalmente, la corta definitiva de los árboles en el año 2037. Estos porcentajes reflejan la proporción de árboles a ser manejados en cada una de esas fechas para la generación de ingresos mediante la venta de leña.

En la estimación del volumen en metros cúbicos ( $m^3$ ) por especie en las plantaciones, se empleó la calculadora de carbono de Plantaciones Forestales desarrollada por el Instituto Nacional de Bosques (INAB). Esta herramienta se fundamenta en métodos y parámetros reconocidos a nivel internacional, los cuales permiten estimar el contenido de carbono en la biomasa por encima del suelo para 28 especies (ver anexo 4, tabla 21) en plantaciones forestales, mediante la utilización de variables dasométricas representativas de cada sitio, derivado del seguimiento de la dinámica de crecimiento de plantaciones forestales mediante Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) establecidas a nivel nacional. Esta metodología se divide en dos procesos fundamentales, el primero consiste en el cálculo del volumen maderable y el segundo en el cálculo de carbono en la biomasa aérea.

Los datos utilizados para este cálculo incluyen información específica sobre la especie de árbol, el índice de sitio, el horizonte de proyección (en este caso, 15 años), la densidad (número de árboles por hectárea) y el área total (en hectáreas) de las plantaciones analizadas. Estos parámetros fueron introducidos en la calculadora de carbono del INAB para obtener la estimación del diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura dominante (H) de cada especie. Los cuales fueron de utilidad para el cálculo del volumen ( $m^3$ ), utilizando la fórmula:

$$V = \frac{3.1415 \times (DAP)^2 \times H \times 0.75}{4}$$

**Fuente:** Manual como cubicamos nuestra madera, Choque R., Fernández, D. y Díaz, C. (2017, 8 p.)

Ya teniendo dichos volúmenes, se estimó la cantidad de árboles por hectárea en los diferentes años, proyectando en la poda del año 2026 una cantidad de 111 árboles/ha, en el raleo del 2027 con 150 árboles/ha, en el segundo raleo del 2032 con 111 árboles/ha y, finalmente, la corta definitiva de los árboles en el año 2037 con 850 árboles/ha, esto se aplicó para ambas áreas energéticas, teniendo en Brisas del Mar

12.23 ha y en Esteros 2.62 ha. Dicha proyección se multiplicó por el volumen en (m<sup>3</sup>) de cada especie correspondiente.

Se tomó en consideración los incentivos forestales de PROBOSQUE, únicamente para la plantación de Brisas del Mar:

### Cuadro 9

Incentivos forestales de PROBOSQUE para plantaciones con fines energéticos

<b>Fase</b>	<b>Monto (Q/ha)</b>
Fase de establecimiento	Q6,400.00/ha
Mantenimiento 1	Q2,500.00/ha
Mantenimiento 2	Q2,400.00/ha
Mantenimiento 3	Q2,000.00/ha
Mantenimiento 4	Q1,500.00/ha
<b>Total</b>	<b>Q14,800.00/ha</b>

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Ya teniendo un flujo de ingresos y egresos se calculó el índice de costo-beneficio utilizando la formula siguiente, la cual se determina mediante la división de los ingresos con los egresos.

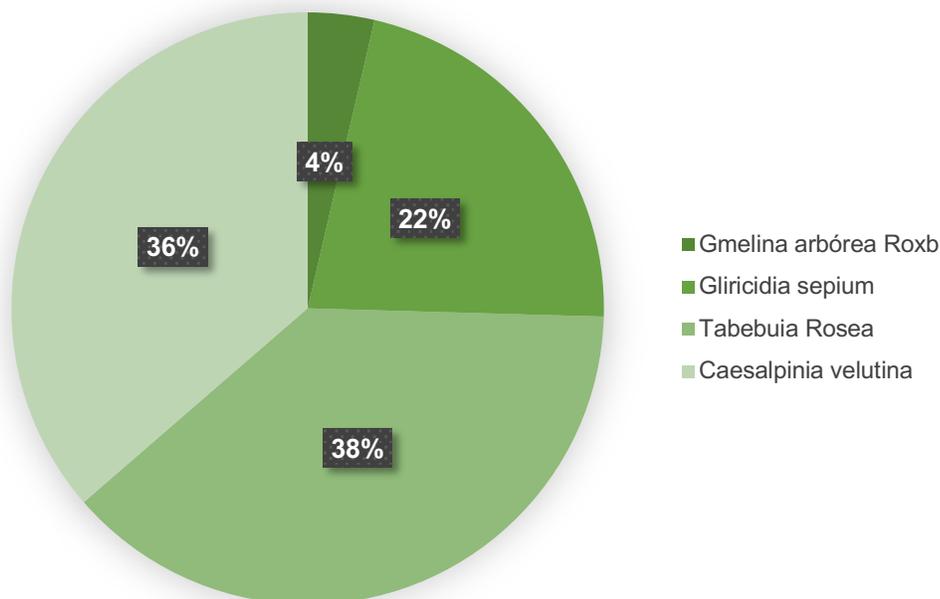
$$C/B = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Egresos}}$$

### 3.6 Presentación y discusión de resultados

#### 3.6.1 Identificación del estado arbóreo

**Figura 10**

Porcentaje de especies en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu

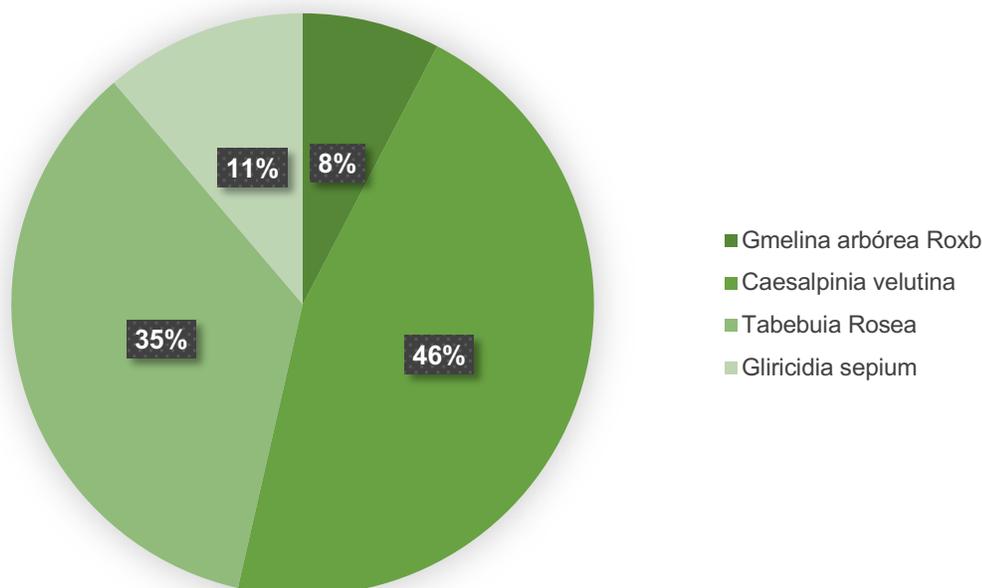


**Fuente:** Gráfica generada en base a la información del muestreo en la restauración con fines energéticos (se menciona en el inciso 3.5.2.1 de este documento).

La frecuencia relativa determina el grado de regularidad en que se encuentran las especies identificando su aparición o ausencia en las parcelas de muestreo. Por lo tanto, la restauración tiene una mayor cantidad de la especie *Tabebuia Rosea* la cual tiene un 38%, siguiendo con la especie de *Caesalpinia velutina* con un 36%, *Gliricidia sepium* con un 22% y la menor cantidad con la especie de *Gmelina arborea roxb* con un 4%.

**Figura 11**

Porcentaje según el estado sanitario en que se encuentran las especies en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu

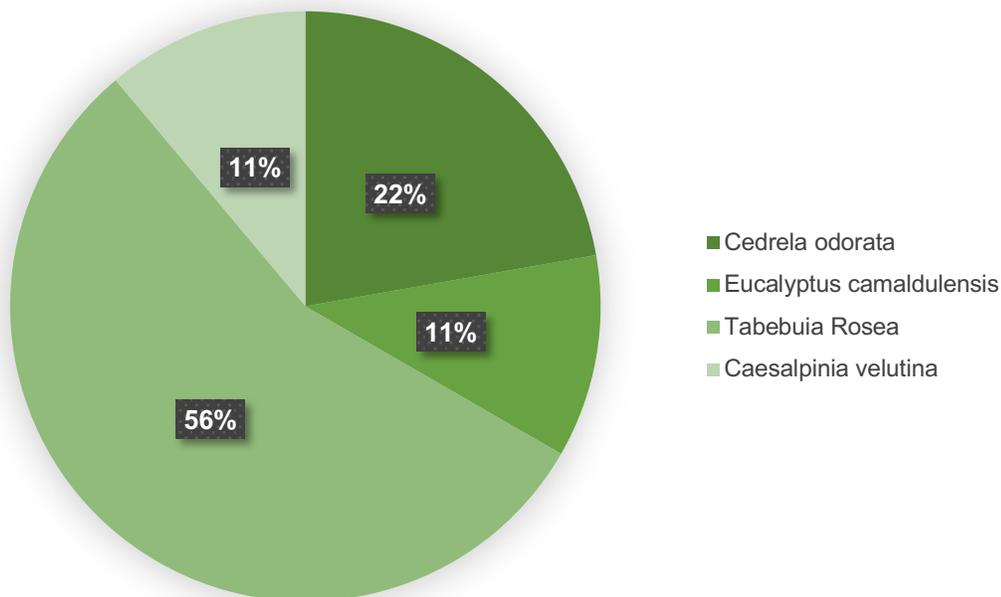


**Fuente:** Gráfica generada en base a la información del muestreo en la restauración con fines energéticos (se menciona en el inciso 3.5.2.1 de este documento).

El estado sanitario se realizó con el fin de conocer el estado de degradación de la restauración al momento de identificar los individuos de cada parcela que presentan especies parasitarias, cuentan con un daño mecánico o enfermedades. Por lo tanto, los 5,173 árboles de *Caesalpinia velutina* el 46% se encuentran en mal estado sanitario, de la especie *Tabebuia Rosea* de los 4,048 árboles el 35% están en mal estado sanitario, siguiendo con la especie de *Gliricidia sepium* de los 1,237 árboles el 11% están en mal estado, finalizando con la especie de *Gmelina arbórea roxb* con 787 árboles de los cuales un 8% se encuentran en mal estado sanitario, por motivos de deficiencia de nutrientes (hierro o nitrógeno), estrés hídrico y plagas (orugas o escarabajos).

**Figura 12**

Porcentaje de especies en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

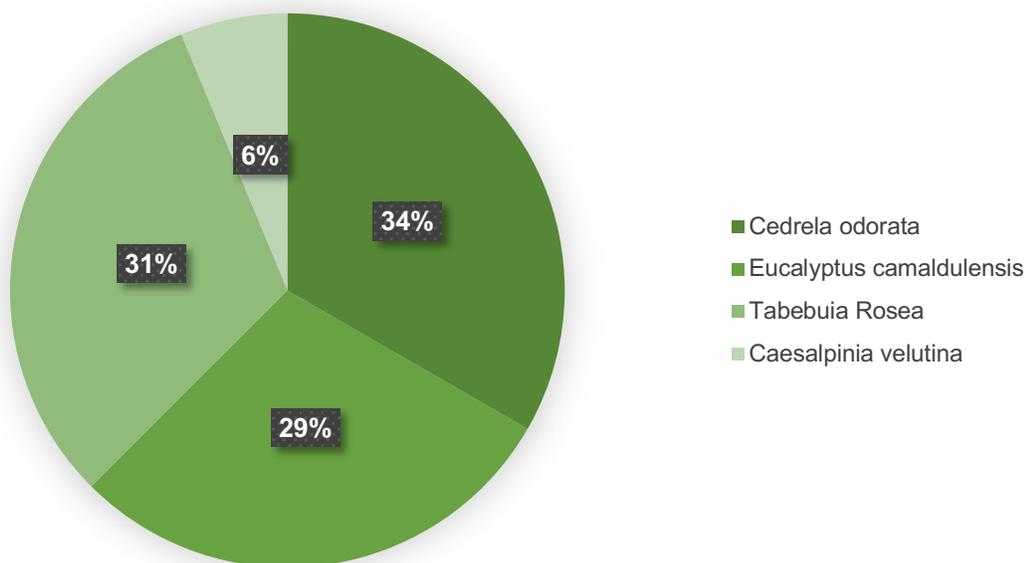


**Fuente:** Gráfica generada en base a la información del muestreo en la restauración con fines energéticos (se menciona en el inciso 3.5.2.1 de este documento).

La frecuencia relativa determina el grado de regularidad en que se encuentran las especies identificando su aparición o ausencia en las parcelas de muestreo. Por lo tanto, la restauración tiene una mayor cantidad de la especie *Tabebuia Rosea* la cual tiene un 56%, siguiendo con la especie de *Cedrela odorata* con un 22%, *Caesalpinia velutina* con un 11% y con la especie de *Eucalyptus camaldulensis* con un 11%.

**Figura 13**

Porcentaje según el estado sanitario en que se encuentren las especies en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a la información del muestreo en la restauración con fines energéticos (se menciona en el inciso 3.5.2.1 de este documento).

El estado sanitario se realizó con el fin de conocer el estado de degradación de la restauración al momento de identificar los individuos de cada parcela que presentan especies parasitarias, cuentan con un daño mecánico o enfermedades. Por lo tanto, los 791 árboles de *Cedrela odorata* el 34% se encuentran en mal estado sanitario, de la especie *Tabebuia Rosea* de los 1,846 árboles el 31% están en mal estado sanitario, siguiendo con la especie de *Eucalyptus camaldulensis* de los 527 árboles el 29% están en mal estado, finalizando con la especie de *Caesalpinia velutina* con 132 árboles de los cuales un 6% se encuentran en mal estado sanitario, por motivos de deficiencia de nutrientes (hierro o nitrógeno), estrés hídrico y plagas (orugas o escarabajos).

### Cuadro 10

Estado de conservación de la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

Variables e indicadores	Valoración de campo	Estado de conservación
Regeneración natural	No aceptable	0
Familias forestales indicadoras	Buena	3
Abundancia relativa de familias indicadoras	Buena	4
Especies Amenazadas	Pobre	1
Cobertura forestal/vegetal	Buena	4
Condiciones del Entorno (condiciones externas)	Intermedia	2
Extracción de madera, leña, ocote, resina, corteza, resinas (condiciones internas)	Muy buena	5
Caminos y senderos	Regular	2
Incendios forestales	No aceptable	0
Flora asociada	Regular	3
Fauna	Muy alta	1
Número de estratos	Regular	1
Clases diamétricas	No aceptable	1
	<b>Estado de conservación del ecosistema</b>	<b>27</b>

**Fuente:** Cuadro generado en base a la información del muestreo en la restauración con fines energéticos (se menciona en el inciso 3.5.2.1 de este documento).

Con el fin de conocer el estado de conservación de la restauración identificando que el área tiene un porcentaje del 40% el cual recomienda una restauración de tierras forestales degradadas.

La densidad mínima inicial para este tipo de restauraciones se establece en 850 árboles por hectárea, actualmente Esteros de Acapán tiene 952 árboles por hectárea. Tomando en consideración la evaluación de los niveles de degradación de la vegetación arbórea (establecidos en el Cuadro 9, sección 9.1.3 Criterios para la orientación de proyectos, del Manual PROBOSQUE (2020), se determinó la presencia de cobertura forestal con áreas basales de 1.02 m<sup>2</sup>/ha.

### Cuadro 11

Estado de conservación de la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuelu

Variables e indicadores	Valoración de campo	Estado de conservación
Regeneración natural	No aceptable	0
Familias forestales indicadoras	Buena	3
Abundancia relativa de familias indicadoras	Buena	4
Especies Amenazadas	Pobre	1
Cobertura forestal/vegetal	Buena	4
Condiciones del Entorno (condiciones externas)	No aceptable	0
Extracción de madera, leña, ocote, resina, corteza, resinas (condiciones internas)	Muy buena	5
Caminos y senderos	Regular	2
Incendios forestales	No aceptable	0
Flora asociada	Regular	3
Fauna	Muy alta	1
Número de estratos	Regular	1
Clases diamétricas	No aceptable	1
	<b>Estado de conservación del ecosistema</b>	<b>25</b>

**Fuente:** Cuadro generado en base a la información del muestreo en la restauración con fines energéticos (se menciona en el inciso 3.5.2.1 de este documento).

Con el fin de conocer el estado de conservación de la restauración identificando que el área tiene un porcentaje del 37% el cual recomienda una restauración de tierras forestales degradadas.

La densidad mínima inicial para este tipo de restauraciones se establece en 850 árboles por hectárea, actualmente Brisas del Mar tiene 919 árboles por hectárea.

Tomando en consideración la evaluación de los niveles de degradación de la vegetación arbórea (establecidos en el Cuadro 9, sección 9.1.3. Criterios para la orientación de proyectos, del Manual PROBOSQUE, 2020), se determinó la presencia de cobertura forestal con áreas basales de 0.73 m<sup>2</sup>/ha.

### 3.6.2 Degradación del suelo

#### 3.6.2.1 Captación de carbono

**Tabla 4**

Carbono por hectárea de las restauraciones con fines energéticos de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

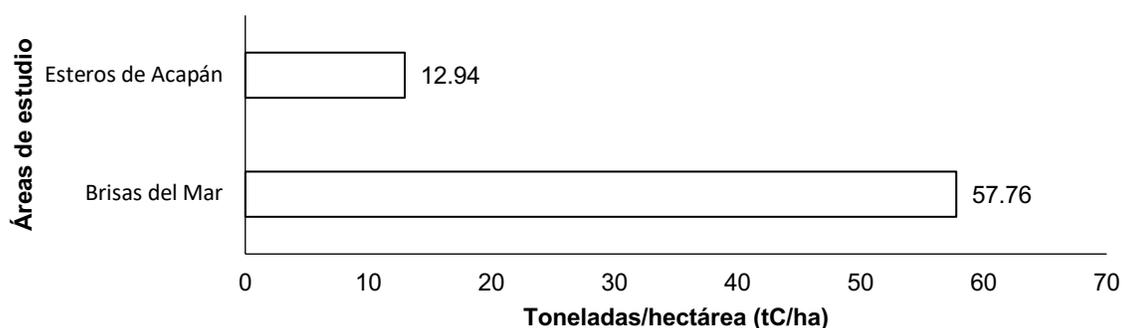
Fincas	Carbono maleza (ha)	Carbono hojarasca (ha)	Carbono árboles (ha)	Carbono suelo (ha)
Brisas del Mar	0.0713	0.0163	0.1003	57.5813
Esteros de Acapán	0.2456	0.0812	0.1210	12.5014

**Fuente:** Tabla generada en base a la metodología de captación de carbono (se menciona en el inciso 3.5.2.2 sección “a” de este documento).

Las guías internacionales para la medición de carbono almacenado, como VCS (2008), MacDicken (1997), y la Guía del IPCC (2003) recomiendan estimar el carbono de los componentes forestales siguientes: biomasa por encima del suelo (árboles), suelo, maleza y hojarasca.

**Figura 14**

Cantidad de toneladas de carbono en una hectárea de las restauraciones con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a la metodología de captación de carbono (se menciona en el inciso 3.5.2.2 sección “a” de este documento). El contenido de carbono en Brisas del Mar es de 57.76 (tC/ha) y en Esteros de Acapán es de 12.94 (tC/ha).

**Tabla 5**

Carbono total de las restauraciones con fines energéticos de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

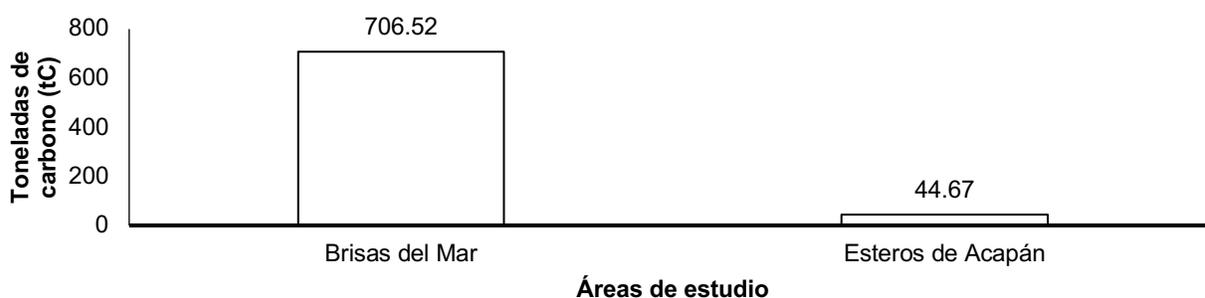
Fincas	Área de estudio (ha)	Carbono total en maleza (tC)	Carbono total en hojarasca (tC)	Carbono total en árboles (tC)	Carbono total en el suelo (tC)
Brisas del Mar	12.23	0.8729	0.2003	1.2274	704.22
Esteros de Acapán	3.45	0.8476	0.2804	0.4175	43.13

**Fuente:** Tabla generada en base a la metodología de captación de carbono (se menciona en el inciso 3.5.2.2 sección “a” de este documento).

Las guías internacionales para la medición de carbono almacenado, como VCS (2008), MacDicken (1997), y la Guía del IPCC (2003) recomiendan estimar el carbono de los componentes forestales siguientes: biomasa por encima del suelo (árboles), suelo, maleza y hojarasca.

**Figura 15**

Cantidad total de toneladas de carbono en las restauraciones con fines energéticos de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a la metodología de captación de carbono (se menciona en el inciso 3.5.2.2 sección “a” de este documento). El contenido de total carbono en Brisas del Mar es de 706.52 toneladas y en Esteros de Acapán es de 44.67 toneladas.

### 3.6.2.2 Fertilidad

**Tabla 6**

Análisis de suelo de macro y micronutrientes

Identificación de la muestra	-	mg/kg	mg/kg1	mg/kg2	mg/kg3	mg/kg4	mg/kg5	mg/kg6	mg/kg7	mg/kg8	mg/kg9	mg/kg10	%
	pH	P	K	Ca	Mn	B	S	Acidez Intercam.	Cu	Fe	Mg	Zn	Materia Orgánica
Brisas del Mar	6.6	7.75	0.38	17.46	8.47	0.17	12.97	0.06	5.98	122.1	122.8	4.5	4.57
Esteros de Acapán	5.5	43.8	1.11	7.94	7.53	0.56	1475.	0.06	6.85	382.0	47.5	9.93	0.94

**Fuente:** Tabla generada en base a la información del análisis de suelo de la restauración con fines energéticos de Brisas del Mar y Esteros de Acapán (2,023) (se menciona en el inciso 3.5.2.2 sección “b” de este documento).

Los análisis de macro y micronutrientes del suelo entre Brisas del Mar y Esteros de Acapán muestran diferencias notables en varios elementos clave:

- El pH del suelo adecuado para plantaciones forestales es de 5.5 a 7.5, por lo cual se puede notar que el suelo de Brisas del Mar es ligeramente ácido a neutro con un pH de 6.6, lo cual es favorable. Por otro lado, en Esteros de Acapán, el pH es más bajo, registrando 5.51, lo que sugiere un suelo más ácido, pero igualmente favorable, lo cual es adecuado para un mejor rendimiento y una mayor productividad de los árboles.
- El Fósforo (P) del suelo adecuado para plantaciones forestales es de 10 a 30 mg/kg, Esteros de Acapán tiene un nivel más alto de fósforo con 43.85 mg/kg, esto puede conducir a problemas ambientales y afectar la biodiversidad del ecosistema circundante. Mientras que en Brisas del Mar es bajo con 7.75 mg/kg, este déficit puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas, limitando su capacidad para alcanzar su máximo potencial.
- El Potasio (K) del suelo adecuado para plantaciones forestales es de 150 a 300 mg/kg, por lo cual se puede decir que Esteros de Acapán muestra un nivel bajo de potasio con 1.11 mg/kg, al igual que Brisas del Mar con 0.38 mg/kg, lo cual indica una deficiencia en el crecimiento y la salud de las plantas forestales.

- El Calcio (Ca) del suelo adecuado para plantaciones forestales es de 2,000 a 4,000 mg/kg. Brisas del Mar tiene un nivel bajo de calcio con 17.46 mg/kg, al igual que en Esteros de Acapán con 7.94 mg/kg. Lo cual tiene implicaciones en el desarrollo de la estructura celular y la función enzimática de las plantas.
- El Manganeso (Mn) del suelo adecuado para plantaciones forestales es de 10 a 100 mg/kg. En Brisas del Mar se encuentra con un nivel bajo de manganeso con 8.47 mg/kg, al igual que Esteros de Acapán con 7.53 mg/kg, esto afecta negativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas.
- El Boro (B) del suelo adecuado para plantaciones forestales es de 1 a 2 mg/kg. Esteros de Acapán presenta un nivel más bajo con 0.56 mg/kg, al igual que Brisas con 0.17 mg/kg, esto afecta a los árboles de la plantación en el desarrollo de las paredes celulares y en su crecimiento.
- El Azufre (S) del suelo adecuado para plantaciones forestales es de 5 a 20 mg/kg. Esteros de Acapán muestra una cantidad más alta de azufre con 1475.3 mg/kg, este exceso de azufre en el suelo puede ser tóxico para las plantas, afectando su crecimiento y desarrollo. Mientras que Brisas del Mar es adecuado con 12.97 mg/kg, el cual desempeña un papel importante en varios procesos biológicos y metabólicos de las plantas.
- Los micronutrientes del suelo como el Cobre (Cu), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), deben tener una cantidad adecuada de 1 a 5 mg/kg de Cu, 20 a 200 mg/kg de Fe, 100 a 400 mg/kg de Mg y de 1 a 10 mg/kg de Zn. En general, Esteros de Acapán tiene altos niveles en Cu y Fe, con un adecuado nivel de Zn y bajo en Mg lo que dificulta el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por otro lado, Brisas del Mar tiene un alto nivel de Cu y un contenido adecuado de Fe, Mg y Zn, lo cual es favorable para las reacciones metabólicas, la aceleración en la germinación y la maduración de las plantas.
- La materia orgánica del suelo adecuada para plantaciones forestales es de 2 a 5%. Brisas del Mar tiene un contenido adecuado de materia orgánica con un 4.57%. Mientras que Esteros de Acapán baja con el 0.94%, esto afecta la estructura del suelo y la retención de nutrientes.

Estas variaciones entre los elementos de ambos suelos muestran diferencias en la disponibilidad y concentración de nutrientes, lo que puede influir en la sanidad y desarrollo de las plantaciones. La codificación cromática se ha utilizado para denotar la cantidad de estos nutrientes en las muestras, empleando rojo para indicar niveles bajos, verdes para los adecuados y celestes para los altos. (Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle B. y A. Aguilar S. 2000, pp. 57-60) (Mckean, S. J. 1993, pp. 9-99) (Vanegas Chacón, E. y Méndez Paiz, B. 2016, pp. 48-50)

### 3.6.2.3 Degradación del suelo

#### Cuadro 12

Estado de degradación del suelo que se encuentra en la restauración con fines energéticos Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu

Boleta de campo									
<b>Lugar:</b>	Finca Brisas del Mar								
<b>Fecha:</b>	09 de junio 2023								
<b>Nombre del evaluador:</b>	Melanie González								
No. de muestreo	Coordenadas GTM O WGS84			Indicadores					Total
	X	Y	Textura	Porosidad	Compactación	Erosión	Profundidad		
1	338792.975	1588679.73	1	2	2	2	2	2	9
2	338881.618	1588763.37	1	2	2	2	2	2	9
3	338948.677	1588893.58	2	2	2	2	2	3	11
4	339151.841	1588706.6	1	2	2	2	2	3	10
5	339027.474	1588659.15	2	2	2	2	2	3	11
6	338942.205	1588586.85	1	2	2	2	2	2	9
<b>Promedio:</b>									9.83

**Fuente:** Cuadro generado en base a la información del análisis de degradación del suelo (se menciona en el inciso 3.5.2.2 sección “c” de este documento).

Realizando esta actividad se definió si el área de la restauración con fines energéticos puede ingresar al programa de incentivos forestales PROBOSQUE, conociendo su textura, porosidad, compactación, erosión y profundidad lo cual refleja si el área fue

dañada por malas prácticas de uso, incendios u otras alteraciones que puedan dañar el suelo. Se clasificó el área de restauración con fines energéticos como una degradación del suelo “severa”, la cual tiene una textura franco arcilloso o de arcilla las cuales son condiciones moderadas o pobres del área de estudio (ver anexo 4, figura 43).

### Cuadro 13

Estado de degradación del suelo que se encuentra en la restauración con fines energéticos Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

Boleta de campo									
<b>Lugar:</b>	Esteros de Acapán								
<b>Fecha:</b>	08 de junio 2023								
<b>Nombre del evaluador:</b>	Melanie González								
No. de muestreo	Coordenadas GTM O WGS84		Indicadores					Total	
	X	Y	Textura	Porosidad	Compactación	Erosión	Profundidad		
1	342987.82	1588766.05	1	2	2	2	2	9	
2	342876.17	1588784.88	2	2	2	2	3	11	
3	342890.49	1588964.91	1	2	2	2	2	9	
<b>Promedio:</b>								9.67	

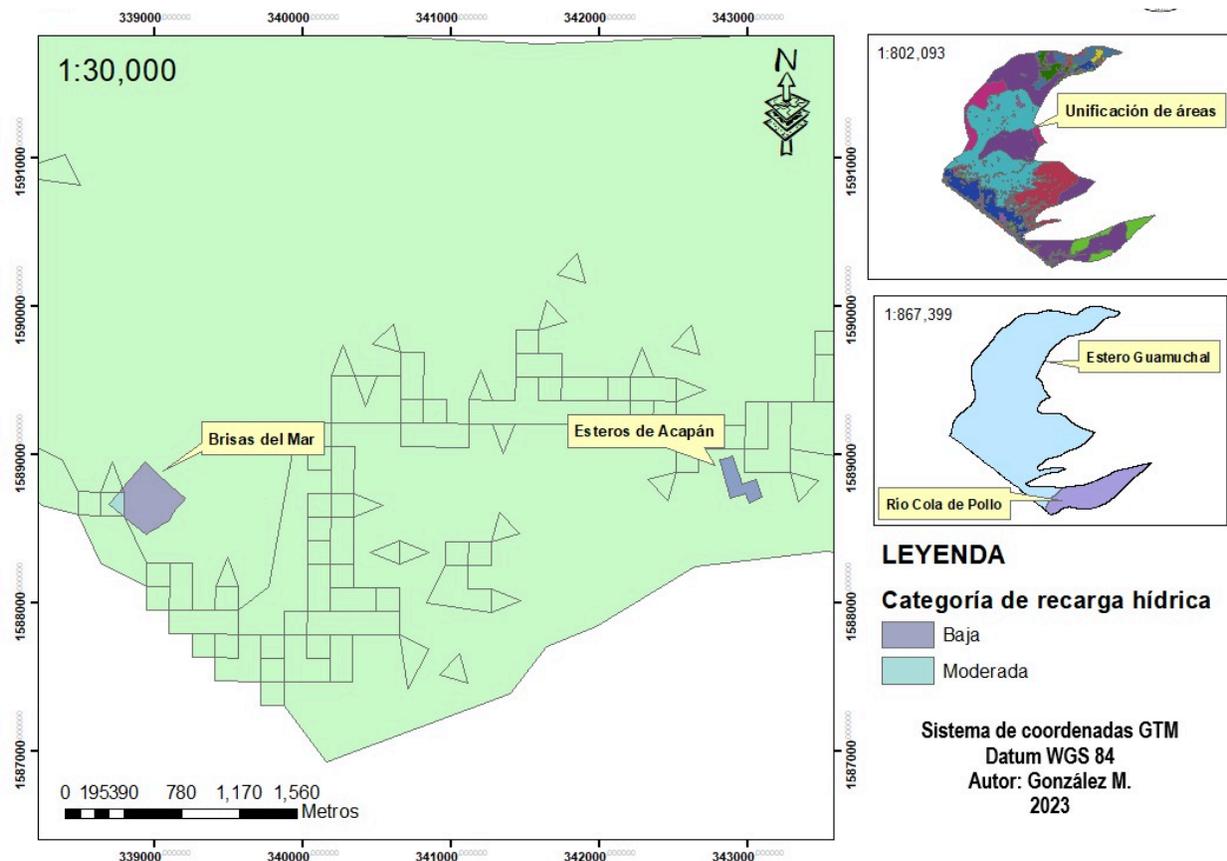
**Fuente:** Cuadro generado en base a la información del análisis de degradación del suelo (se menciona en el inciso 3.5.2.2 sección “c” de este documento).

Realizando está actividad se definió si el área de la restauración con fines energéticos puede ingresar al programa de incentivos forestales PROBOSQUE, conociendo su textura, porosidad, compactación, erosión y profundidad lo cual refleja si el área fue dañada por malas prácticas de uso, incendios u otras alteraciones que puedan dañar el suelo. Se clasificó el área de restauración con fines energéticos como una degradación del suelo “severa”, la cual tiene una textura franco arcilloso la cual es una condición moderada del área de estudio. (Ver anexo 4, figura 43)

### 3.6.3 Capacidad hídrica

**Figura 16**

Mapa de categorización de recarga hídrica de la restauración con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Mapa generado en base a los datos recabados (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “b” de este documento).

Las zonas con un potencial Moderado, presentan limitantes en cuanto a la cobertura, uso del suelo: granos básicos y pendientes poco pronunciadas, lo que lleva a dirigir el manejo a controlar y a mejorar las prácticas agrícolas en éstas zonas, deben recibir una consideración preferencial por cuanto se encuentran en un punto medio en cuanto a su potencial de recarga, es decir que su potencial puede ser incrementado; pero si no se toman medidas adecuadas ese potencial también puede verse disminuido. Las zonas con baja capacidad de recarga presentan limitantes en el tipo geológico, tipo de suelo, uso y cobertura; al respecto únicamente del uso y la cobertura pueden ser

manipulados y mejorados. Esto lleva a pensar que el enfoque en este tipo de zonas debe ser en cuanto a cambios, por ese motivo se llevó a cabo una restauración con fines energéticos en dichas áreas de estudio, para que permitan minimizar el impacto negativo de las limitantes anteriores.

**Tabla 7**

Método de Porchet Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu

Datos de campo				
Prueba de infiltración				
Hora	Enrase	Lectura	Tiempo acumulado	Lamina de infiltración
Hh:Mm:Ss	cm	cm	min	cm
10:37:00	30	30	0	
10:42:00		30	5	0
10:47:00		30	10	0
10:52:00		30	15	0
10:57:00		30	20	0
11:02:00		30	25	0
11:07:00		30	30	0
11:12:00		30	35	0
11:17:00		30	40	0
11:22:00		30	45	0
11:27:00		30	50	0
11:32:00		30	55	0
11:37:00		30	60	0
11:42:00		30	65	0
11:47:00		29.9	70	0.1
11:52:00		29.9	75	0
11:57:00		29.8	80	0.1
12:02:00		29.8	85	0
12:07:00		29.8	90	0
12:12:00		29.7	95	0.1
12:17:00		29.7	100	0
12:22:00		29.6	105	0.1
12:27:00		29.6	110	0
12:32:00		29.6	115	0
12:37:00		29.5	120	0.1

**Fuente:** Tabla generada en base a los datos obtenidos de la prueba de infiltración (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “c.1” de este documento).

Realizando está actividad se logró obtener los datos de capacidad de infiltración utilizando las fórmulas del método de Horton.

**Tabla 8**

Método de Horton Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu

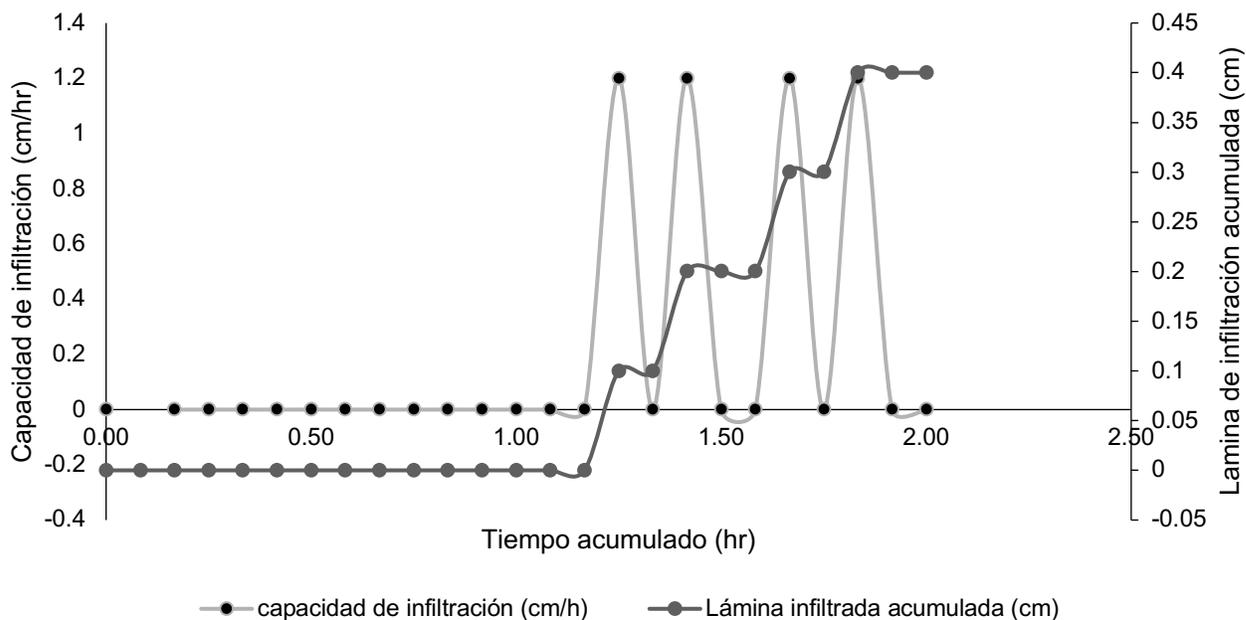
ECUACIÓN DE HORTON						
Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Tiempo acumulado (hr)	Lamina de infiltración (cm)	Lamina de infiltración acumulada (cm)	Capacidad de infiltración FP (cm/h)	Ln(fp-fc)
5	0	0.00	0	0		
5	5	0.08	0	0	0	-
5	10	0.17	0	0	0	-
5	15	0.25	0	0	0	-
5	20	0.33	0	0	0	-
5	25	0.42	0	0	0	-
5	30	0.50	0	0	0	-
5	35	0.58	0	0	0	-
5	40	0.67	0	0	0	-
5	45	0.75	0	0	0	-
5	50	0.83	0	0	0	-
5	55	0.92	0	0	0	-
5	60	1.00	0	0	0	-
5	65	1.08	0	0	0	-
5	70	1.17	0.1	0.1	1.2	0.182
5	75	1.25	0	0.1	0	-
5	80	1.33	0.1	0.2	1.2	0.182
5	85	1.42	0	0.2	0	-
5	90	1.50	0	0.2	0	-
5	95	1.58	0.1	0.3	1.2	0.182
5	100	1.67	0	0.3	0	-
5	105	1.75	0.1	0.4	1.2	0.182
5	110	1.83	0	0.4	0	-
5	115	1.92	0	0.4	0	-
5	120	2.00	0.1	0.5	1.2	0.182

**Fuente:** Tabla generada en base a los datos obtenidos de la prueba de infiltración (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “c.1” de este documento).

El método de Horton indicó que la tasa de infiltración es gobernada principalmente por las condiciones de la superficie del suelo. El proceso de infiltración de agua en el suelo ha sido intensamente estudiado debido a su importancia en el manejo del agua en la agricultura, la conservación del recurso suelo, la recarga hacia los acuíferos y otras actividades técnicas.

Figura 17

Gráfica de dispersión de la curva de capacidad de infiltración en la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu

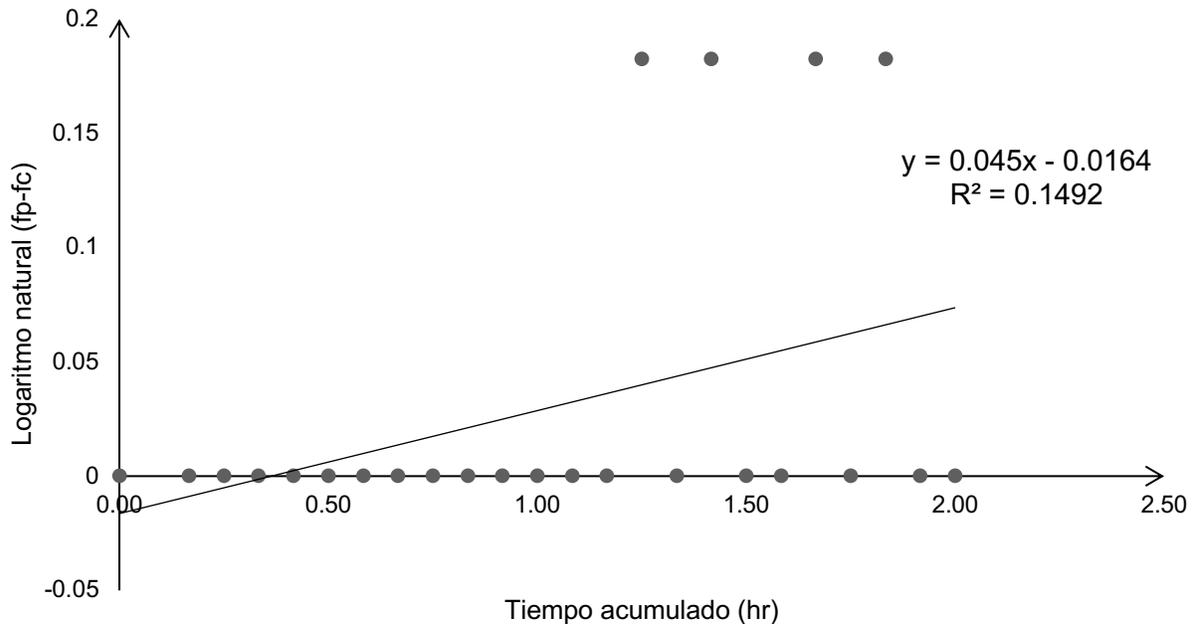


**Fuente:** Gráfica generada en base a los datos obtenidos de la prueba de infiltración (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “d.1” de este documento).

La velocidad de infiltración determinó la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica, en los métodos de riego la velocidad de entrada de agua al suelo determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar.

**Figura 18**

Datos del logaritmo natural de la capacidad de infiltración menos el tiempo acumulado en (hr) en la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a los datos obtenidos de la prueba de infiltración (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “d.1” de este documento).

La gráfica de dispersión del logaritmo natural que determina “k”, en donde se utiliza una línea de tendencia y la representación del gráfico en una ecuación, con la finalidad de utilizar como referencia la ecuación de Horton “k” es igual a 0.045 que es la pendiente y el logaritmo natural de  $(f_0 - f_c)$  vendría siendo 0.0164.

**Tabla 9**

Método de Porchet Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

<b>Datos de campo</b>				
<b>Prueba de infiltración</b>				
<b>Hora</b>	<b>Enrase</b>	<b>Lectura</b>	<b>Tiempo acumulado</b>	<b>Lamina de infiltración</b>
<b>Hh:Mm:Ss</b>	cm	cm	min	cm
14:38:00	30	30	0	
14:43:00		29.9	5	0.1
14:48:00		29.8	10	0.1
14:53:00		29.7	15	0.1
14:58:00		29.6	20	0.1
15:03:00		29.6	25	0
15:08:00		29.5	30	0.1
15:13:00		29.5	35	0
15:18:00		29.5	40	0
15:23:00		29.4	45	0.1
15:28:00		29.4	50	0
15:33:00		29.3	55	0.1
15:38:00		29.3	60	0
15:43:00		29.2	65	0.1
15:48:00		29.2	70	0
15:53:00		29.2	75	0
15:58:00		29.1	80	0.1
16:03:00		29.1	85	0
16:08:00		29.1	90	0
16:13:00		29.1	95	0
16:18:00		29	100	0.1
16:23:00		29	105	0
16:28:00		29	110	0
16:33:00		29	115	0
16:38:00		29	120	0

**Fuente:** Tabla generada en base a los datos obtenidos de la prueba de infiltración (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “c.1” de este documento).

Realizando esta actividad se logró obtener los datos de capacidad de infiltración utilizando las fórmulas del método de Horton.

Tabla 10

Método de Horton Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

ECUACIÓN DE HORTON						
Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Tiempo acumulado (hr)	Lamina de infiltración (cm)	Lamina de infiltración acumulada (cm)	Capacidad de infiltración FP (cm/h)	Ln(fp -fc)
5	0	0.00	0	0		
5	5	0.08	0.1	0	1.2	0.182
5	10	0.17	0.1	0	1.2	0.182
5	15	0.25	0.1	0	1.2	0.182
5	20	0.33	0.1	0	1.2	0.182
5	25	0.42	0	0	0	-
5	30	0.50	0.1	0	1.2	0.182
5	35	0.58	0	0	0	-
5	40	0.67	0	0	0	-
5	45	0.75	0.1	0	1.2	0.182
5	50	0.83	0	0	0	-
5	55	0.92	0.1	0	1.2	0.182
5	60	1.00	0	0	0	-
5	65	1.08	0.1	0	1.2	0.182
5	70	1.17	0	0.1	0	-
5	75	1.25	0	0.1	0	-
5	80	1.33	0.1	0.2	1.2	0.182
5	85	1.42	0	0.2	0	-
5	90	1.50	0	0.2	0	-
5	95	1.58	0	0.2	0	-
5	100	1.67	0.1	0.3	1.2	0.182
5	105	1.75	0	0.3	0	-
5	110	1.83	0	0.3	0	-
5	115	1.92	0	0.3	0	-
5	120	2.00	0	0.3	0	-

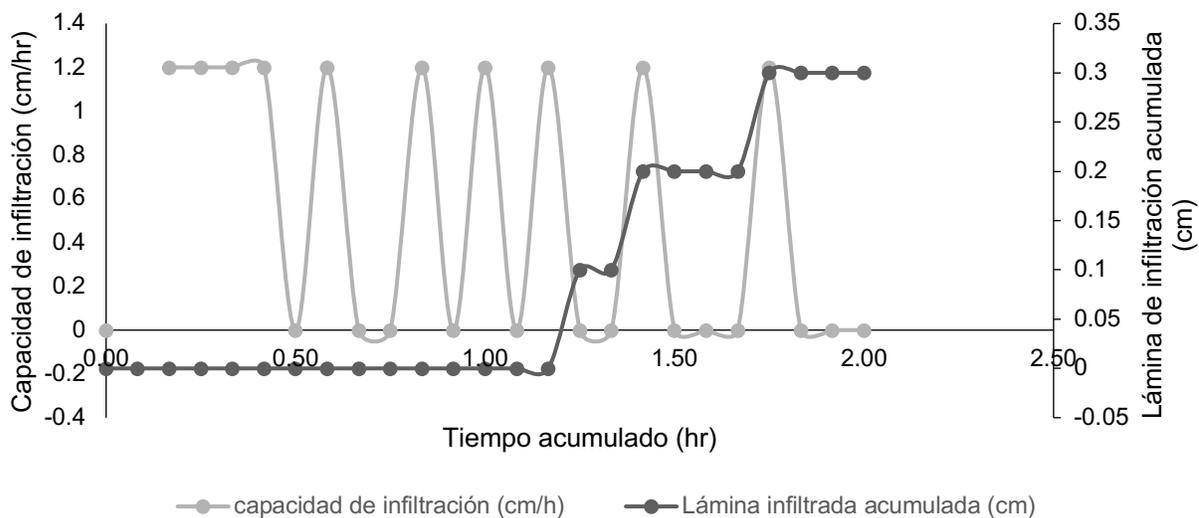
**Fuente:** Tabla generada en base a los datos obtenidos de la prueba de infiltración (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección "c.1" de este documento).

El método de Horton indicó que la tasa de infiltración es gobernada principalmente por las condiciones de la superficie del suelo. El proceso de infiltración de agua en el suelo

ha sido intensamente estudiado debido a su importancia en el manejo del agua en la agricultura, la conservación del recurso suelo, la recarga hacia los acuíferos y otras actividades técnicas.

**Figura 19**

Gráfica de dispersión de la curva de capacidad de infiltración en la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

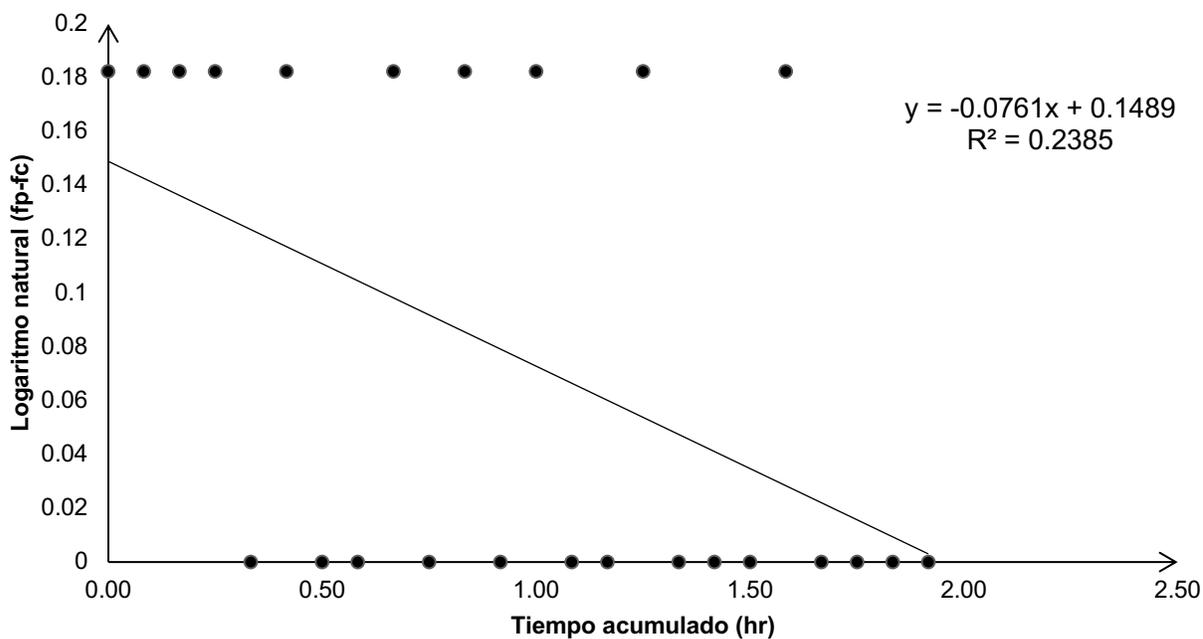


**Fuente:** Gráfica generada en base a los datos obtenidos de la prueba de infiltración (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “d.1” de este documento).

La velocidad de infiltración determinó la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica, en los métodos de riego la velocidad de entrada de agua al suelo determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar.

Figura 20

Datos del logaritmo natural de la capacidad de infiltración menos el tiempo acumulado en (hr) en la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a los datos obtenidos de la prueba de infiltración (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “d.1” de este documento).

La gráfica de dispersión del logaritmo natural que determina “k”, en donde se utiliza una línea de tendencia y la representación del gráfico en una ecuación, con la finalidad de utilizar como referencia la ecuación de Horton “k” es igual a -0.0761 que es la pendiente y el logaritmo natural de  $(f_o-f_c)$  vendría siendo 0.1489.

**Cuadro 14**

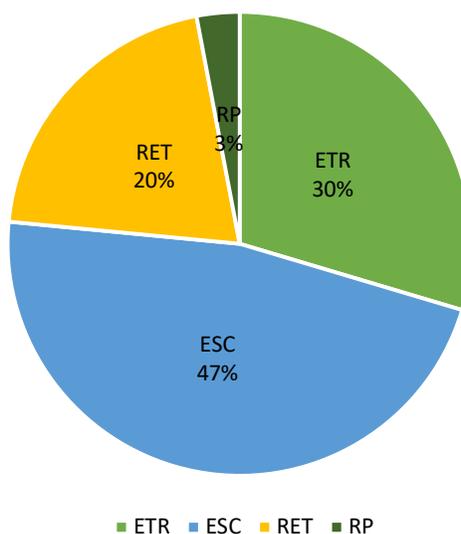
Balance hídrico de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

Unidades de Muestreo	Área (m <sup>2</sup> )	PP (mm)	PP (m <sup>3</sup> )	Ret (mm)	Ret (m <sup>3</sup> )	ESC (mm)	ESC (m <sup>3</sup> )	ETR (mm)	ET (R m <sup>3</sup> )	RP (mm)	RP (m <sup>3</sup> )	Categoría
Brisas del Mar	122,300	1,434.11	175,391.48	293.87	35,939.73	673.48	82,367.05	424.25	51,885.89	42.51	5,198.81	B
Esteros de Acapán	34,500	1,434.11	49,476.75	293.87	10,138.35	670.32	23,126.02	425.96	14,695.61	43.96	1,516.76	B
<b>TOTALES</b>	<b>156,800</b>	<b>2,868.22</b>	<b>224,868.22</b>	<b>587.73</b>	<b>46,078.08</b>	<b>1,343.80</b>	<b>105,493.07</b>	<b>850.21</b>	<b>66,581.50</b>	<b>86.47</b>	<b>6,715.57</b>	
	<b>15.68</b>	<b>1,434.11</b>		<b>293.87</b>		<b>671.90</b>		<b>425.11</b>		<b>43.24</b>	<b>432.36</b>	

**Fuente:** Cuadro generado en base a los datos recabados (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “d.2” de este documento), resultado total del balance hídrico por finca.

**Figura 21**

Porcentaje de los datos generados en el balance hídrico de las restauraciones con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

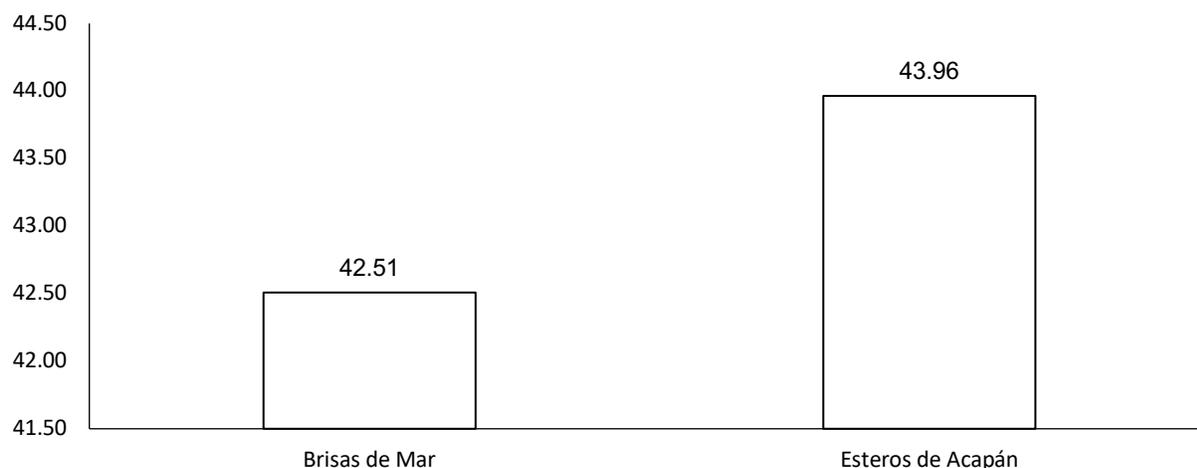


**Fuente:** Gráfica generada en base a los datos recabados (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “d.2” de este documento), resultado total del balance hídrico por finca.

La evapotranspiración real (ETR) tiene una estimación de 66,581.50 m<sup>3</sup>/ año, con una retención de lluvia (RET) de 46,078.08 m<sup>3</sup>/ año, una recarga potencial (RP) 6,715.57 m<sup>3</sup>/año y una escorrentía superficial (ESC) de 105,493.07 m<sup>3</sup>/ año teniendo un total de 224.868.22 m<sup>3</sup> / año de salidas por las dos áreas de estudio.

**Figura 22**

Recarga potencial por unidad de muestreo de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a los datos recabados, (se menciona en el inciso 3.5.2.3 sección “d.2” de este documento), resultado total del balance hídrico por finca.

La recarga potencial por unidad de muestreo es de 42.51 mm en Brisas del Mar y 43.96 mm en Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu.

### 3.6.4 Cálculo del costo de los proyectos

**Tabla 11**

Proyección del volumen de leña en m<sup>3</sup> en las restauraciones con fines energéticos de los diferentes años

Fincas	Poda 10% (2026)	Raleo 15% (2027)	Raleo 10% (2032)	Corta final (2037)
Brisas del Mar	122 m <sup>3</sup>	312 m <sup>3</sup>	429 m <sup>3</sup>	10,395 m <sup>3</sup>
Esteros de Acapán	29 m <sup>3</sup>	67m <sup>3</sup>	102 m <sup>3</sup>	1,559 m <sup>3</sup>

**Fuente:** Tabla elaborada en base a la información de fase de gabinete del cálculo del costo de los proyectos en Brisas del Mar y Esteros de Acapán (se menciona en el inciso 3.5.2.4 sección “a” de este documento).

La proyección de la poda del 10% indica una cantidad específica de madera que se eliminará durante dicha etapa para mejorar el crecimiento y desarrollo de los árboles restantes. Esto sugiere que se planea eliminar una cantidad específica de biomasa total para estimular el crecimiento de los árboles más fuertes.

La proyección de los raleos indica que se eliminaran los árboles más pequeños o menos saludables para proporcionar más recursos a los árboles seleccionados y mejorar su crecimiento.

La corta final indica una proyección significativa de volumen de madera que se cortará en la etapa final. Esto sugiere la cosecha principal de los árboles para utilizar su madera con fines energéticos. Estas actividades van en conjunto con los planes de manejo forestal, siendo Brisas del Mar más intensiva en cuanto a la eliminación de madera en etapas posteriores, debido a una mayor densidad de la plantación.

**Tabla 12**

Proyección de egresos en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

<b>Año</b>	<b>Egresos</b>
2020	Q69,168.40
2021	Q121,902.18
2022	Q149,530.56
2023	Q61,485.06
2024	Q66,050.56
2025	Q55,832.56
2026	Q58,760.56
2027	Q61,892.56
2028	Q53,212.56
2029	Q49,282.56
2030	Q20,534.40
2031	Q0.00
2032	Q11,220.00
2033	Q0.00
2034	Q0.00
2035	Q0.00
2036	Q0.00
2037	Q171,490.00

**Fuente:** Tabla generada en base a la metodología de recolección de información, (se menciona en el inciso 3.5.2.4 de este documento).

La inversión en la plantación involucra una colaboración significativa entre diversas entidades, tanto gubernamentales como privadas, incluyendo instituciones locales, organizaciones no gubernamentales y empresas privadas. Esta colaboración evidencia un esfuerzo conjunto para respaldar y financiar el desarrollo sostenible de la plantación.

Se realizó una proyección detallada de los costos relacionados con el mantenimiento anual de las plantaciones desde el año 2024 hasta el 2028. Esta proyección consideró diferentes fases de mantenimiento y sus respectivos montos, establecidos por PROBOSQUE como incentivos forestales. Esto sugiere una planificación a largo plazo y una estimación precisa de los recursos necesarios para garantizar el mantenimiento adecuado de las plantaciones en los próximos años.

Además de los incentivos forestales, se incluyeron costos específicos, como el pago del motosierrista y el transporte de leña hacia el núcleo de la comunidad. Estos costos están relacionados con actividades específicas de poda y raleo programadas para los años 2026, 2027, 2032 y 2037. Asimismo, el crédito subsidiado por la compra de la tierra, el cual va desde 2020 hasta el 2030. Esta planificación detallada de actividades y gastos adicionales muestra una consideración exhaustiva de los recursos necesarios para llevar a cabo prácticas de gestión forestal sostenible.

El monto total proyectado es de 950,361.96 quetzales abarca desde el inicio del proyecto en 2020 hasta la proyección del año 2037, lo que implica un plan de manejo forestal a largo plazo de quince años. Esto subraya la importancia de tener una visión a largo plazo para el mantenimiento sostenible de las plantaciones y el compromiso continuo de recursos financieros a lo largo del tiempo.

**Tabla 13**

Proyección de ingresos en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu

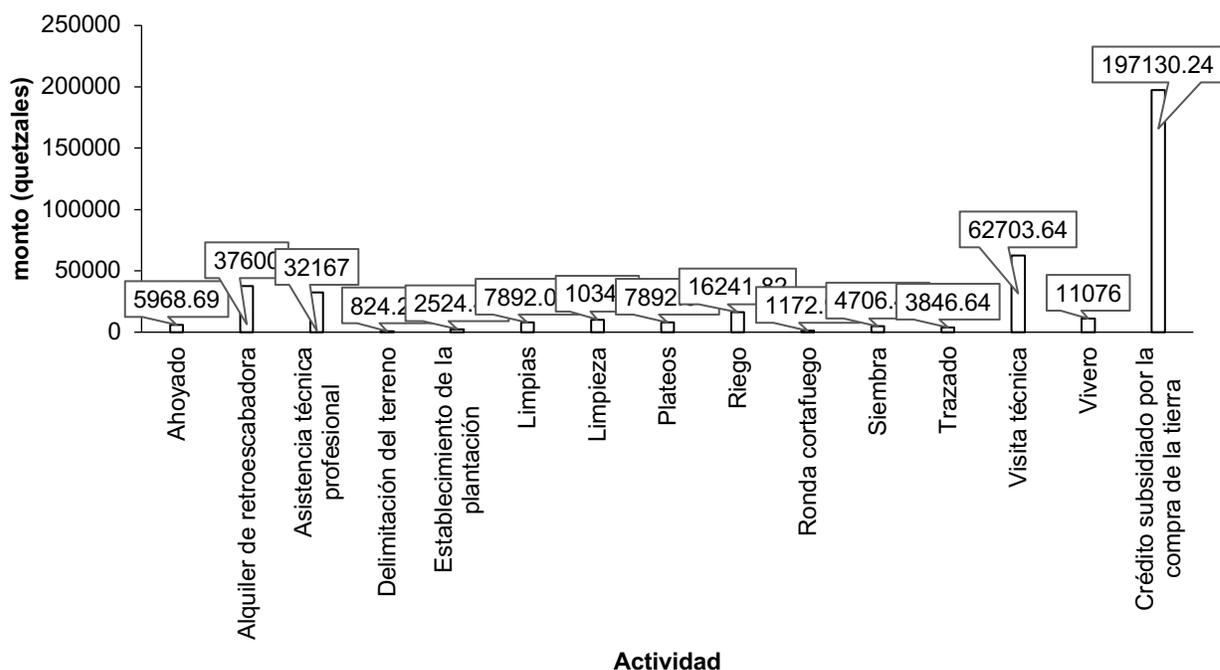
Año	Ingresos
2020	Q0.00
2021	Q0.00
2022	Q0.00
2023	Q0.00
2024	Q0.00
2025	Q0.00
2026	Q6,090.00
2027	Q14,070.00
2028	Q0.00
2029	Q0.00
2030	Q0.00
2031	Q0.00
2032	Q21,420.00
2033	Q0.00
2034	Q0.00
2035	Q0.00
2036	Q0.00
2037	Q327,390.00

**Fuente:** Tabla generada en base a la metodología de recolección de información (se menciona en el inciso 3.5.2.4 de este documento).

La proyección de las actividades programadas para generar ingresos a través de la plantación forestal incluye la operación de manejo de árboles como poda y raleo en porcentajes específicos para cada los años 2026, 2027, 2032 y 2037., lo que refleja la planificación estratégica para obtener ingresos mediante la venta de leña en momentos específicos del desarrollo de la plantación. Teniendo un total proyectado de Q368,970.00.

**Figura 23**

Inversión realizada durante los cuatro años en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a la metodología de recolección de información (se menciona en el inciso 3.5.2.4 de este documento).

La inversión acumulada en las diferentes actividades a lo largo de los años 2020, 2021, 2022 y 2023 reflejan una distribución diversificada de los recursos financieros. Estas

actividades abarcan una amplia gama de procesos relacionados con la preparación, establecimiento y mantenimiento de la plantación.

La diversidad de las actividades, desde el ahoyado hasta la siembra, la limpieza, el riego y el arrendamiento con opción a compra, demuestran la extensa planificación y ejecución de labores necesarias para el desarrollo exitoso de la plantación. El ahoyado, la asistencia técnica, la limpieza general del área y las actividades de riego destacan como procesos críticos para establecer las bases de la plantación.

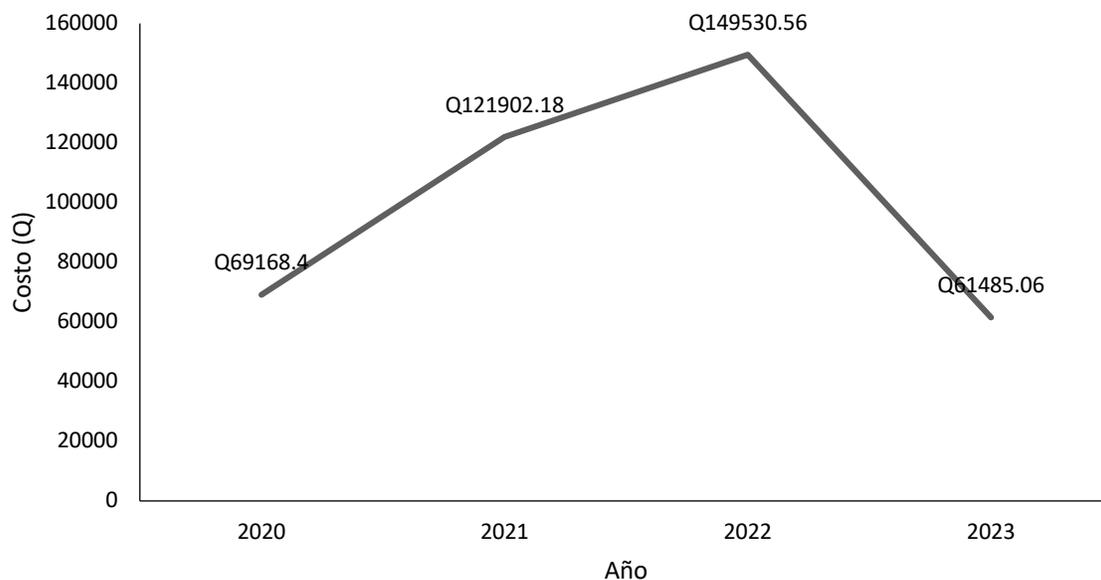
Además, el crédito subsidiado por la compra de la tierra, el cual representa un gasto sustancial, esta inversión a largo plazo garantiza el terreno de la plantación para los comunitarios.

Por otro lado, la actividad de visita técnica, aunque no se detalla explícitamente, muestra una inversión significativa, lo que indica una fuerte colaboración en insumos y herramientas de los profesionales y consultores expertos para garantizar un desarrollo adecuado del proyecto.

La distribución de la inversión posee una amplia variedad de actividades lo cual muestra un enfoque integral para el establecimiento y mantenimiento de la plantación, con la finalidad de asegurar una cobertura adecuada.

**Figura 24**

Inversión acumulada en la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a la metodología de recolección de información (se menciona en el inciso 3.5.2.4 de este documento).

La inversión acumulada muestra una distribución de costos significativos a lo largo de varios años y extensiones de terreno diferentes. Esto evidencia una inversión progresiva en el desarrollo y mantenimiento de las plantaciones. La comunidad ha tenido que enfrentar desafíos diversos, como la escasez de mano de obra, las condiciones del suelo, la carencia de acceso a fuentes de agua (hasta el año 2022) y la vulnerabilidad a cambios climáticos, que han provocado una alta tasa de mortalidad de los árboles, llevando a la necesidad de múltiples replantaciones.

Un aspecto que se destacó en estos, es el costo unitario en la siembra de cada árbol, que ha variado notablemente a lo largo de los años. Se observó que, en el 2020, el costo unitario fue de Q19.76, abarcando una superficie de 3.15 ha destinadas a parcelas de estudio, durante este período, enfrentaron desafíos relacionados con la

limpieza, escasez de mano de obra y condiciones climáticas. En el 2021, el costo unitario disminuyó significativamente a Q9.14, a pesar de la expansión a 12 ha, este descenso se atribuye al apoyo de la entidad externa ICC, que proporcionó insumos, mientras que la mano de obra fue exclusivamente comunitaria. Sin embargo, la siembra fuera de tiempo generó pérdidas. El costo unitario del 2022 aumentó a Q16.35, correspondiendo a la replantación de 8.23 ha, donde se contó con el respaldo de Rainforest Alliance para insumos y herramientas, igualmente que la entidad de ICC. La perforación de un pozo por el Ingenio Magdalena durante este año contribuyó a la supervivencia de los árboles. Además, en el 2023, el costo fue de Q18.66, considerando únicamente los árboles que sobrevivieron del establecimiento en 2022. Este monto engloba actividades de mantenimiento, como limpiezas, plateos y riegos llevados a cabo por los comunitarios.

Estas variaciones en los costos unitarios están asociadas a diferentes factores como la cantidad de área para trabajar, el apoyo de entidades, disponibilidad de mano de obra, acceso a fuentes de agua, cambios en los insumos y condiciones climáticas. La reducción de costos en 2021 sugirió mejoras en la eficiencia y gestión de recursos en comparación con el año anterior, mientras que el aumento en 2022 reflejó la necesidad de enfrentar desafíos como la mortalidad de árboles y las condiciones climáticas cambiantes.

Estos ponen de manifiesto la complejidad y los desafíos a los que se enfrenta la comunidad en la gestión y mantenimiento de la plantación forestal. Las variaciones en los costos unitarios reflejan la adaptación y respuesta a los cambios y desafíos experimentados a lo largo de los años, siendo de importancia mantener una estrategia flexible y sostenible para lograr un manejo exitoso de la plantación a largo plazo.

**Tabla 14**

Proyección de egresos en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu

Año	Egresos
2021	Q148,269.31
2022	Q221,685.18
2023	Q109,613.45
2024	Q128,499.20
2025	Q80,802.20
2026	Q92,999.20
2027	Q109,007.20
2028	Q68,572.20
2029	Q50,227.20
2030	Q50,227.20
2031	Q20,928.00
2032	Q47,190.00
2033	Q0.00
2034	Q0.00
2035	Q0.00
2036	Q0.00
2037	Q1,143,450.00

**Fuente:** Tabla generada en base a la metodología de recolección de información (se menciona en el inciso 3.5.2.4 de este documento).

La inversión en la plantación involucra una colaboración significativa entre diversas entidades, tanto gubernamentales como privadas, incluyendo instituciones locales, organizaciones no gubernamentales y empresas privadas. Esta colaboración evidencia un esfuerzo conjunto para respaldar y financiar el desarrollo sostenible de la plantación.

Se realizó una proyección detallada de los costos relacionados con el mantenimiento anual de las plantaciones desde el año 2024 hasta el 2028. Esta proyección consideró diferentes fases de mantenimiento y sus respectivos montos, establecidos por PROBOSQUE como incentivos forestales. Esto sugiere una planificación a largo plazo y una estimación precisa de los recursos necesarios para garantizar el mantenimiento adecuado de las plantaciones en los próximos años.

Además de los incentivos forestales, se incluyeron costos específicos, como el pago del motosierrista y el transporte de leña hacia el núcleo de la comunidad. Estos costos

están relacionados con actividades específicas de poda y raleo programadas para los años 2026, 2027, 2032 y 2037. Asimismo, el crédito subsidiado por la compra de la tierra, el cual va desde 2021 hasta el 2031. Esta planificación detallada de actividades y gastos adicionales muestra una consideración exhaustiva de los recursos necesarios para llevar a cabo prácticas de gestión forestal sostenible.

El monto total proyectado es de 2, 271,470.34 quetzales abarca desde el inicio del proyecto en 2021 hasta la proyección del año 2037, lo que implica un plan de manejo forestal a largo plazo de quince años. Esto subraya la importancia de tener una visión a largo plazo para el mantenimiento sostenible de las plantaciones y el compromiso continuo de recursos financieros a lo largo del tiempo.

**Tabla 15**

Proyección de ingresos en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu

<b>Año</b>	<b>Ingresos</b>
2021	Q0.00
2022	Q0.00
2023	Q0.00
2024	Q78,272.00
2025	Q30,575.00
2026	Q54,972.00
2027	Q89,980.00
2028	Q18,345.00
2029	Q0.00
2030	Q0.00
2031	Q0.00
2032	Q90,090.00
2033	Q0.00
2034	Q0.00
2035	Q0.00
2036	Q0.00
2037	Q2,182,950.00

**Fuente:** Tabla generada en base a la metodología de recolección de información (se menciona en el inciso 3.5.2.4 de este documento).

La proyección de las actividades programadas para generar ingresos a través de la plantación forestal incluye la operación del manejo de árboles como poda y raleo en

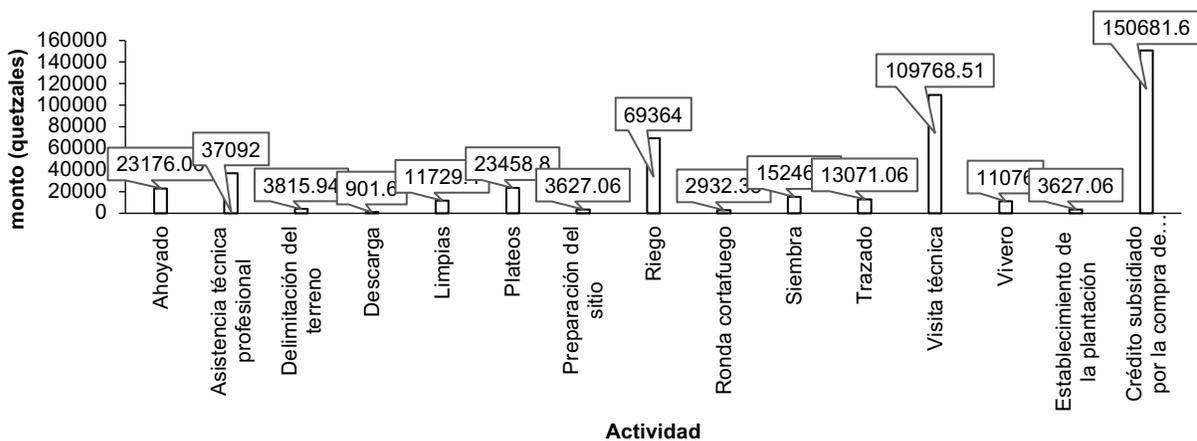
porcentajes específicos para los años 2026, 2027, 2032 y 2037, lo que refleja la planificación estratégica para obtener ingresos mediante la venta de leña en momentos específicos del desarrollo de la plantación.

Además, se consideró los incentivos forestales proporcionados por PROBOSQUE empezando en el año 2024 hasta el 2028, con los montos asignados para las diferentes fases de mantenimiento, lo cual suma a la viabilidad financiera del proyecto. Estos optimizan la gestión y el mantenimiento de la plantación, lo que a su vez contribuye a los ingresos proyectados.

El total del ingreso proyectado es de Q2, 545,184.00, combinación de la planificación de actividades de manejo de árboles y la estimación precisa del volumen de madera por especie. Esta cantidad indica un retorno financiero esperado, lo que subraya la importancia de una gestión forestal planificada y sostenible para asegurar el éxito económico a largo plazo de la plantación.

**Figura 25**

Inversión realizada durante los tres años en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a la metodología de recolección de información (se menciona en el inciso 3.5.2.4 de este documento).

La distribución detallada de la inversión acumulada en diversas actividades llevadas a cabo en los años 2021, 2022 y 2023, las cuales representan un amplio espectro de tareas relacionadas con la preparación, el establecimiento y el mantenimiento de la plantación.

El desembolso más destacado es el crédito subsidiado por la compra de la tierra, con una inversión significativa de Q150,681.60, esta inversión a largo plazo garantiza el terreno de la plantación a los comunitarios.

Las visitas técnicas, que comprenden viáticos, depreciación del vehículo, donaciones, transporte, insumos y herramientas, representan el segundo gasto elevado con 109,768.51 quetzales. Esto indica la colaboración con profesionales y expertos en consultoría para asegurar una ejecución adecuada del proyecto.

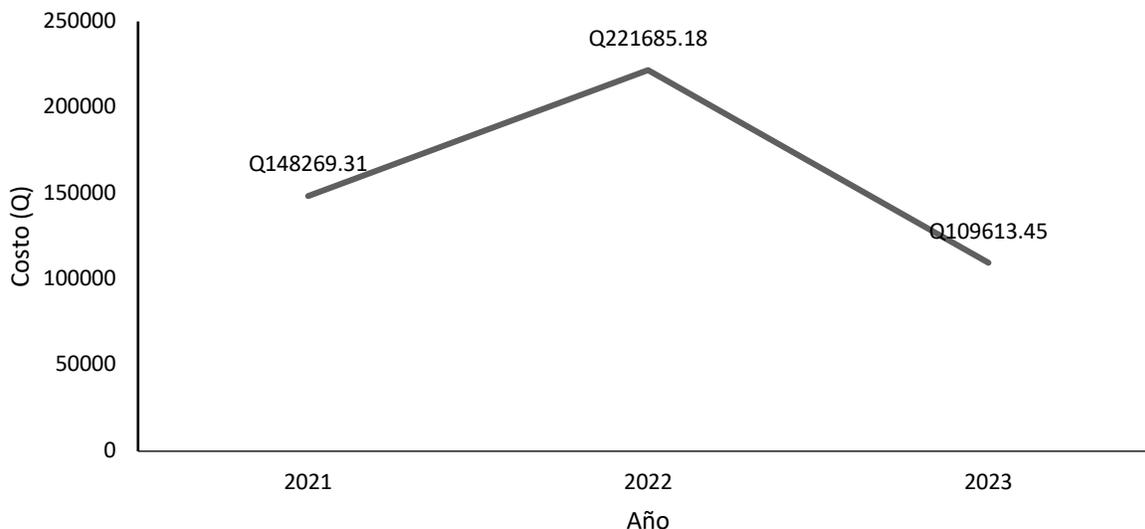
El riego, la asistencia técnica profesional, los plateos, y los ahoyados representan inversiones importantes que son fundamentales en las etapas iniciales de la plantación. Estas actividades son esenciales para establecer una base sólida y garantizar un desarrollo adecuado de la plantación.

Además, otras actividades como las siembras, rondas cortafuego el trazado, las limpias, las labores en el vivero, la delimitación del área de plantación y la preparación del sitio demuestran la atención a detalles específicos para el desarrollo exitoso del proyecto.

Es interesante notar que se destinó el pago por la descarga de árboles e insumos por parte de Fondo de Tierras, los cuales están asociados en la colaboración con entidades externas para el proyecto. La distribución detallada de la inversión en una amplia gama de actividades sugirió una planificación integral y un enfoque meticuloso en todas las etapas del proyecto de plantación con fines energéticos.

**Figura 26**

Inversión acumulada en la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu



**Fuente:** Gráfica generada en base a la metodología de recolección de información (se menciona en el inciso 3.5.2.4 de este documento).

En 2021, la inversión inicial fue de 148,269.31 quetzales en 12.23 hectáreas. Aquí se destacan los costos unitarios por árbol, que fueron de 10.91 quetzales. Esto puede considerarse un punto de referencia para la inversión inicial por árbol en esa fase.

En 2022, debido al incendio forestal que afectó las 12.23 hectáreas, se llevó a cabo una replantación con una inversión total de 221,685.18 quetzales. El costo unitario por árbol en este año fue de 16.31 quetzales. Se observa un aumento sustancial en el costo por árbol respecto al año anterior, esto se debió a la necesidad de reemplazar las plantas perdidas en el incendio y a otras variables como cambios en la logística, mano de obra y elección de especies.

En 2023, durante la fase de mantenimiento, se invirtieron 109,613.45 quetzales en las 12.23 hectáreas. El costo por árbol fue de 9.95 quetzales, mostrando una disminución

en comparación con el año anterior. Esta reducción indica un manejo más eficiente de los recursos y optimización en la fase de mantenimiento.

El incremento en los costos unitarios por árbol entre 2021 y 2022 se debe a la necesidad de replantar tras el incendio, donde posiblemente se requirió una mayor inversión por árbol para asegurar la recuperación de la plantación. La disminución en 2023 representa una mejora en la eficiencia operativa y en la implementación de estrategias más económicas sin comprometer la calidad del proyecto.

### 3.7 Conclusiones

- El estado actual del componente arbóreo de las restauraciones en ambos sitios de estudio refleja un esfuerzo prometedor en la reforestación, con la siembra y mantenimiento de una cantidad significativa de árboles en ambas áreas, y una densidad arbórea considerable por hectárea. Pero éstas enfrentan desafíos en cuanto al estado sanitario de ciertas especies, este aspecto requiere una intervención enfocada para garantizar la salud y vitalidad de estos árboles y, por ende, el éxito del proyecto de restauración.

El análisis del estado de conservación revela que el 38.5% del área de las restauraciones está en un estado que requiere una restauración adicional de tierras forestales degradadas.

- Se clasificaron las áreas de restauración con fines energéticos como una degradación del suelo “severa” en ambas áreas de estudio. Ya que el suelo no posee la capacidad de sustentar el crecimiento de las plantas y optimizar su rendimiento, debido a la ausencia de cantidades de macronutrientes los cuales son la fuente de alimentación de los árboles y por las excesivas cantidades micronutrientes los cuales influyen en la capacidad de crecimiento de los árboles.

A pesar de tener una degradación del suelo severa, se reconoció que las restauraciones con fines energéticos estando en la etapa de establecimiento, tienen la mayor parte de carbono almacenado en el suelo, debido a la cantidad de materia orgánica presente ya que las muestras colectadas se tomaron a una profundidad de 10 cm (área donde se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica), las principales entradas de carbono al suelo se generan mediante la incorporación de material vegetal, como residuos de los árboles (hojarasca),

raíces, exudados radicales y guano. De esta manera, cuando mayor es el crecimiento vegetal, mayor será el ingreso de carbono.

- El estudio de las zonas de recarga hídrica en las áreas de Brisas del Mar y Esteros de Acapán revela importantes diferencias en cuanto a su potencial y su impacto en el ciclo hidrológico de la región.

En Brisas del Mar, se identificó que solo un pequeño porcentaje (7.77%) del territorio tiene un potencial alto de recarga hídrica, gracias a suelos con texturas gruesas y la presencia de la especie *Gmelina arborea*. Por otro lado, la mayoría del área (92.23%) tiene un potencial bajo debido a usos previos de la tierra.

En contraste, Esteros de Acapán muestra un potencial de recarga hídrica en su totalidad como bajo. Este hallazgo puede deberse a usos anteriores de la tierra, que han reducido la capacidad de recarga de agua.

El estudio resalta la importancia de la textura del suelo, la cual influye significativamente en la velocidad de infiltración del agua de lluvia.

La importancia de estas zonas de recarga hídrica radica en su papel esencial en el ciclo hidrológico, ya que permiten la infiltración del agua de lluvia en el suelo y el reabastecimiento de las aguas subterráneas, lo que afecta la disponibilidad de agua en la región.

Los datos del balance hídrico son fundamentales para comprender la dinámica del agua en la región y pueden servir como base para la toma de decisiones relacionadas con la gestión de recursos naturales y la conservación del ciclo hidrológico.

- El cálculo del costo-beneficio de las plantaciones en las áreas de Brisas del Mar y Esteros de Acapán evidencia diferencias significativas en el retorno de la inversión entre las plantaciones de ambos sitios de estudio, reflejando un panorama contrastante en términos de eficiencia económica. En el caso de Brisas del Mar ofrece un rendimiento financiero positivo con 1.12 en C/B, al contrario, con la plantación de Esteros de Acapán teniendo un C/B de 0.38 el cual no genera suficientes beneficios para justificar el costo de la inversión.

### 3.8 Recomendaciones

- Conociendo el estado actual del componente arbóreo de las restauraciones se debe implementar una replantación con especies pioneras que ayuden a mejorar el suelo y crear condiciones adecuadas para especies más exigentes. Al igual que escoger especies de árboles que sean resistentes a las condiciones adversas del suelo.
- En la problemática de la degradación del suelo severa, se sugiere aplicar enmiendas al suelo, como compost, abono orgánico y minerales necesarios para corregir las deficiencias nutricionales y mejorar la estructura del suelo. También considerando la agroforestería, que combina árboles con cultivos y/o ganadería, lo cual puede ayudar a mejorar la fertilidad del suelo y la biodiversidad, así como proporcionar múltiples beneficios, incluyendo energía sostenible. Tomando en cuenta también en diseñar un plan integral de manejo de plagas y enfermedades para proteger los árboles en crecimiento, evitando así pérdidas debido a infestaciones que podrían ser más devastadoras en suelos degradados. Involucrando activamente a la comunidad local en el proceso de restauración, proporcionando capacitación e información sobre la importancia de la restauración de suelos y los beneficios energéticos asociados.
- Ya conociendo la recarga hídrica de cada restauración, conviene implementar técnicas eficientes de conservación de agua, como riego por goteo, mulching y medias lunas, para asegurar un uso óptimo del agua disponible y combatir el estrés hídrico en el suelo. También identificar zonas de recarga hídrica en otras áreas dentro de las fincas, a fin de obtener un mejor estimado de su precisión y exactitud, así de este modo, generar más confianza entre aquellos que deseen utilizar los resultados como parámetro que permitan tomar decisiones.

- Se sugiere el mantenimiento de registros integrales basados en boletas de registro, implementadas a partir del año 2023, que abarcan las actividades cotidianas llevadas a cabo en las distintas restauraciones, incluyendo el vivero forestal comunal. Además, documentar las decisiones adoptadas en función de estos datos. Esta práctica facilitará un análisis retrospectivo y permitirá una planificación más efectiva para proyectos similares en el futuro.

#### IV. Referencias

- Anacafé. (2023). *Análisis de las propiedades físicas del suelo en Brisas del Mar y Esteros de Acapán*. Champerico, Retalhuleu. 1 p.
- Anacafé. (2023). *Análisis de macro y micro nutrientes del suelo en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán*. Champerico, Retalhuleu. 1 p.
- Borda, M., Marcial Carranza, S., Hernández Muciño, D. y Muciño Muciño, M. (2016). *Restauración productiva en la práctica: el caso de las comunidades indígenas Me'Phaa de La Montaña de Guerrero, México*. (1ª. ed.). Vazquez Mancini. [https://www.researchgate.net/publication/309681903\\_Restauracion\\_productiva\\_en\\_la\\_practica\\_el\\_caso\\_de\\_las\\_comunidades\\_indigenas\\_Me\\_Phaa\\_de\\_La\\_Montana\\_de\\_Guerrero\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/309681903_Restauracion_productiva_en_la_practica_el_caso_de_las_comunidades_indigenas_Me_Phaa_de_La_Montana_de_Guerrero_Mexico)
- Camacho Calvo, M. (2000). *Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical. Guía para el establecimiento y medición*. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3290/Parcelas\\_permanentes\\_de\\_muestreo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3290/Parcelas_permanentes_de_muestreo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Castellanos, J. E., Quilo, A. y Amboage, R. M. (2010). *Metodología para la estimación de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala*. Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala y CARE-Guatemala. <https://es.scribd.com/document/216887834/Metodologia-en-estimacion-de-Carbono-espanol-CEAB-UVG-2010>
- Castellanos, J. Z., Uvalle B., J. X. y Aguilar S., A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. INTAGRI.
- Choque, R., Fernández, D. y Díaz, C. (2017). *Manual como cubicamos nuestra madera*. [https://www.unodc.org/documents/bolivia/DIM\\_Manual\\_Como\\_cubicamos\\_la\\_madera.pdf](https://www.unodc.org/documents/bolivia/DIM_Manual_Como_cubicamos_la_madera.pdf)
- CSIRO. (2004). *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Eucalipto rojo. <https://web.archive.org/web/20060815035031/http://www.cmis.csiro.au/healthycountry/CCScience/TB/eucalyptus-camaldulensis/index.html>

- De la Cruz, R. (1982). *Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. MAGA, Inafor, Unidad de Evaluación y Promoción, Digesa. <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/ZONAS%20DE%20VIDA.pdf>
- Doran, J.W. y Parkin, T.B. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, Wisconsin. J. W. Doran, D. C. Coleman, D. C. Bezdicek, y B. A. Stewart.
- FAO. (1995). *Evaluación de los recursos forestales 1990 - Países en desarrollo no tropicales, región mediterránea*. <https://www.fao.org/3/t0830s/t0830s.pdf>
- Fondo de Tierras. (2022). *Zonificación (Finca Los Cocos y Anexos)*. p. 6-9.
- Gómez, J. (2021). *Plan de manejo forestal para el establecimiento de plantación forestal con fines energéticos (Finca Los Cocos y Anexos)*. Fondo de tierras. p.2-12.
- ICC (Instituto Privado de Investigación de Cambio Climático). (2021). *Plantación forestal con fines de aprovechamiento*. 1 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). (2012). *Guía para el establecimiento, monitoreo y rehabilitación de parcelas permanentes de medición forestal en bosques naturales de coníferas*. [https://www.inab.gob.gt/images/publicaciones/GUIA\\_PPMF%20coniferas.pdf](https://www.inab.gob.gt/images/publicaciones/GUIA_PPMF%20coniferas.pdf)
- INAB, FAO/FFF. (2016). *Guía técnica de las especies forestales más utilizadas para la producción de leña en Guatemala*. [https://inab.gob.gt/images/centro\\_descargas/industria\\_comercio\\_forestal/Gu%C3%ADa%20de%20Especies%20Forestales%20para%20Le%C3%B1a.PDF](https://inab.gob.gt/images/centro_descargas/industria_comercio_forestal/Gu%C3%ADa%20de%20Especies%20Forestales%20para%20Le%C3%B1a.PDF)
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). (2017). *Cedro Cedrela odorata; paquete tecnológico forestal*. [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2802/Technical/CEDROD.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/CEDROD.pdf)
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). (2017). *Plantaciones forestales energéticas y la recuperación de los bosques*. <https://www.inab.gob.gt/images/boletines/2017/abril/Plantaciones%20energeticas.pdf>

- INAB (Instituto Nacional de Bosques). (2022). *Guía de campo para evaluar la degradación arbórea elaborada*. Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear, MAGA, SICA, Unión Europea.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). (2022). *Guía de criterios y parámetros técnicos, para la evaluación del bosque latifoliado, en la modalidad de restauración de tierras forestales degradadas, en el marco de la Ley PROBOSQUE*. <https://restauracionforestal.inab.gob.gt/images/biblioteca/guias-de-restauracion-forestal/Gu%C3%ADa%20sobre%20Criterios%20y%20par%C3%A1metros%20t%C3%A9cnicos,%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20del%20bosque%20latifoliado.pdf>
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). (06 de febrero de 2023). *Acerca del Instituto Nacional de Bosques*. <https://www.inab.gob.gt/index.php/quienes-somos>
- Instituto Nacional de Bosques. (2023). *Guía de campo para la clasificación de degradación del suelo -PROBOSQUE-*. Departamento de Manejo de Bosques Naturales Dirección de Manejo y Conservación de Bosques.
- INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala). (12 de marzo de 2023). *Registro de la estación meteorológica de Champerico, Retalhuleu 2006-2018*. 1 p.
- Israelsen Orson, W. y West, Frank L. (1922). Water-Holding Capacity of Irrigated Soils. *Bulletin No. 183*. [https://digitalcommons.usu.edu/uaes\\_bulletins/149](https://digitalcommons.usu.edu/uaes_bulletins/149)
- Ley de Fomento al Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala -PROBOSQUE- [Decreto Número 2]*. (2015). Congreso de la República de Guatemala. <https://www.inab.gob.gt/images/informacionpublica/2020/julio/Normativas/1.4.1%20Leyes/Ley%20PROBOSQUE%20DECRETO%20DEL%20CONGRESO%202015.pdf>
- Ley Forestal [Decreto Número 101-96]*. (2015). Congreso de la República de Guatemala. [https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2015/06/15.\\_Ley\\_Forestal\\_Decreto\\_101\\_96.pdf](https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2015/06/15._Ley_Forestal_Decreto_101_96.pdf)

- Mckean, S. J. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías*. CIAT. [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/S593.M2\\_Manual\\_de\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_suelos\\_y\\_tejido\\_vegetal\\_Una\\_gu%C3%ADa\\_te%C3%B3rica\\_y\\_pr%C3%A1ctica\\_de\\_metodologia.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_te%C3%B3rica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf)
- Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. (2015). *Estrategia Nacional de Restauración del Paisaje Forestal: mecanismo para el Desarrollo Rural Sostenible de Guatemala*. [https://www.researchgate.net/publication/320554220\\_Estrategia\\_Nacional\\_del\\_Paisaje\\_Forestal\\_de\\_Guatemala](https://www.researchgate.net/publication/320554220_Estrategia_Nacional_del_Paisaje_Forestal_de_Guatemala)
- Mis Finanzas para invertir. (2023). *Cómo evaluar la rentabilidad de un proyecto o negocio*. <https://www.misfinanzasparainvertir.com/como-evaluar-la-rentabilidad-de-un-proyecto-o-negocio/#>
- Obregón Sánchez, C. (2006). Gmelina arborea: Versatilidad, Renovación y Productividad Sostenible para el Futuro. *Revista El Mueble y La Madera*, (5), 14-20. <https://www.yumpu.com/es/document/read/23099301/gmelina-arborea-revista-el-mueble-y-la-madera>
- Ochoa, E. (2022). *Plantaciones forestales (Brisas del Mar y Esteros de Acapán)*. Rainforest Alliance. p. 1-16.
- Oldeman, L. (1998). *Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation*. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). [https://www.isric.org/sites/default/files/isric\\_report\\_1988\\_04.pdf](https://www.isric.org/sites/default/files/isric_report_1988_04.pdf)
- ONU y FAO. (1980). *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos*. <https://www.fao.org/3/ap354s/ap354s.pdf>
- Ortiz Anaya, H. y Ortiz Niño, D.A. (2018). *Flujo de caja y proyecciones financieras*. (3ª. ed.). Universidad Externado de Colombia. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/0c8b1d80-d641-4d06-8515-fc6701ccd94d/content>

- Pinelo Morales, G. I. (2000). *Manual para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala*.  
[http://ppm.inab.gob.gt/docs/metodologia\\_bnl.pdf](http://ppm.inab.gob.gt/docs/metodologia_bnl.pdf)
- Política de acceso a la tierra vía créditos subsidiados [Resolución de consejo directivo número 60-2016]*. (2016). FONTIERRAS (Fondo de Tierras).  
[https://www.fontierras.gob.gt/ip/Politica\\_Acceso\\_Via\\_CreditosSubs.pdf](https://www.fontierras.gob.gt/ip/Politica_Acceso_Via_CreditosSubs.pdf)
- Reglamento del programa de incentivos forestales [Resolución JD 01.01.2007]*. (2007). CALAS (Centro de Acción Legal - Ambiental y Social de Guatemala).  
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/gua135695.pdf>
- Rodríguez Rett, A. Sueldo Cruz, S. y Ñontol Antay, O. (2022). *Agricultura Insostenible*.  
<https://conexionambiental.pe/agricultura-insostenible/>
- Ruiz R., E. y Martínez S. (2016). *Hidrología Aplicada: Infiltración y humedad del suelo*. 12p.  
[https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/47724/mod\\_resource/content/1/Material\\_Docente/Tema\\_4.pdf](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/47724/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_4.pdf)
- Russo, R. (2009). *Guía práctica de medición de carbono en la biomasa forestal*.  
[https://www.researchgate.net/publication/236593400\\_GUIA\\_PRACTICA\\_PARA\\_LA\\_MEDICION\\_DE\\_LA\\_CAPTURA\\_DE\\_CARBONO\\_EN\\_LA\\_BIOMASA\\_FORESTAL](https://www.researchgate.net/publication/236593400_GUIA_PRACTICA_PARA_LA_MEDICION_DE_LA_CAPTURA_DE_CARBONO_EN_LA_BIOMASA_FORESTAL)
- Schosinsky N., G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, (34), 34-35.  
<https://doi.org/10.15517/rgac.v0i34-35.4223>
- SER (Society for Ecological Restoration). (2004). *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1452-limitaciones-sociales-de-la-restauracion-ecologica>
- Shaxson, F. y Barbar, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*. <https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s.pdf>
- SIFGUA (Sistema de Información Forestal de Guatemala). (2023). *PROBOSQUE*.  
<https://www.sifgua.org.gt/SIFGUADData/PaginasEstadisticas/Recursos-forestales/probosque.aspx>

Torres Bahena, E. (2023). *Gliricidia sepium*. CONABIO.  
<https://enciclovida.mx/especies/188367-gliricidia-sepium>

Ugalde Arias, L. A. (2003). *Guía para el Establecimiento y Medición de Parcelas para el Monitoreo y Evaluación del Crecimiento de Árboles en Investigación y en Programas de Reforestación con la Metodología del Sistema MIRA*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).  
<https://es.scribd.com/document/108886768/GUIA-PARA-ESTABLECIMIENTO-Y-MEDICION-DE-PARCELAS-PARA-EL>

UNECE y FAO. (2000). *Forest resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand*. UNECE.

Vanegas Chacón, E. y Méndez Paiz, B. (2016) *Aplicación del índice de calidad de suelos en plantaciones forestales de palo blanco (Tabebuia donnell-smithii Rose) y Matilisquate (Tabebuia rosea Bertol) en Guatemala*.  
<file:///Users/home/Downloads/jcestrada,+Art.+4.pdf>

Walpers, W.G. (1842). *Gliricidia sepium*. CONABIO-UNAM.  
[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/29-legum19m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/29-legum19m.pdf)

Zamora Arrué, V. M. (2020). *Instructivo para la determinación de categorías de recarga hídrica*. INAB (Instituto Nacional de Bosques).

Vo. Bo.



Lcda. Ana Teresa de González  
 Bibliotecaria CUNSUROC.



## V. Anexos

### Anexo 1: Resultados de análisis del suelo

#### Figura 27

Resultados del análisis de macro y micronutrientes del suelo de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, realizados en el laboratorio de Anacafé

ORDEN: 30-1576

ANÁLISIS: AS-4

CLIENTE: LAS ESPERANZAS

UNIDAD PRODUCTIVA: LAS ESPERANZAS

LOCALIZACIÓN: CHICACAO SUCHITEPEQUEZ

CULTIVO: CAFE

Fecha de Ingreso: 13/03/2023

Fecha de Ejecución: 23/03/2023 08:57:33 a.m. Fecha de Impresión: 24/03/2023 12:12:35 p.m.



#### Informe de Análisis de Suelos

Identificación de la Muestra	-	mg/Kg	Cmol(+)Kg	Cmol(-)Kg	Cmol(+)Kg	mg/Kg	mg/Kg	Cmol(+)Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%
No.	Niveles Adecuados													
3952	6.96	7.75	0.37	10.52	4.32	0.15	8.85	0.06	4.04	118.62	136.29	1.46	1.41	
3953	6.49	18.49	0.77	4.85	1.86	0.14	6.10	0.09	2.11	133.96	1.61	1.30	1.43	
3954	6.60	7.75	0.38	17.46	8.47	0.17	12.97	0.06	5.98	122.12	122.84	4.50	4.57	
3955	5.51	43.85	1.11	7.94	7.53	0.56	1475.30	0.06	6.85	382.02	47.50	9.93	0.94	
3956	7.32	7.75	0.15	15.58	13.39	0.17	34.61	0.05	4.99	130.12	148.25	1.25	1.38	

● = Bajo  
● = Adecuado  
● = Alto

Identificación de la Muestra	Cmol(-)Kg	Porcentaje de Saturación en la CICE					Equilibrio de Bases		
		Ca	Mg	Al	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	
No.	Niveles Adecuados								
3952	15.27	2.42	68.89	28.29	0.39	28.43	11.68	2.44	40.11
3953	7.57	10.17	64.07	24.57	1.19	6.30	2.42	2.61	8.71
3954	26.37	1.44	66.21	32.12	0.23	45.95	22.29	2.06	68.24
3955	16.64	6.67	47.72	45.25	0.36	7.15	6.78	1.05	13.94
3956	29.17	0.51	53.41	45.80	0.17	103.87	89.27	1.16	193.13

#### Nomenclatura

Al = Aluminio  
 Mg = Magnesio  
 Ca = Calcio  
 K = Potasio

\*CICE=Capacidad de Intercambio Cationico efectivo

\*Al.= Acidez Intercambiable (Hidrogeno + Aluminio)

#### Observaciones

Azufre, boro, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y cinc: solución extractante Mehlich III y determinación por ICP-OES

Materia orgánica (M.O.): método de Walkley y Black

pH: método de potenciometría, relación 1:2.5 - suelo:agua

Solución extractante para acidez intercambiable (AI) con: KCl 1 Normal, metodología por volumetría.

Solución extractante para azufre y boro: fosfato ácido de calcio, metodología Espectrofotometría visible

#### \*Análisis Acreditado Coguanor NTG/SO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-087-18

- Los resultados de este informe son validos únicamente para la muestra como fue recibida en el laboratorio y en su impresión ORIGINAL
- Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los Criterios de Aceptación establecidos por Analab.
- El laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe
- La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- Todo documento fuera del servidor Control\_Documentos(lancua05) y de la carpeta IPublicados se considera una copia no controlada



LAB\_Pr108\_FAS4 Versión 2

Especialista de Suelos y Aguas

5a Calle 0-50 Zona 14 Guatemala Guatemala C A

E-mail : analab@anacafe.org

www.laboratorioanalab.com

Teléfonos PBX: (502) 2421-3700 ext. 1132 1133 y 1137

Página 1 de 2

Fuente: Anacafé (2023)

## Figura 28

Resultados del análisis de capacidad de campo y punto de marchitez permanente del suelo de la finca Esteros de Acapán, realizados en el laboratorio de Anacafé

Orden: 30-2911  
 Cliente: MELANY GONZALEZ  
 Unidad productiva: LOS COCOS Y ANEXOS  
 Localización: CHAMPERICO, RETALHULEU

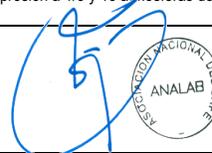


### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOS DE SUELOS CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE AS-13

No. Laboratorio	Identificación	LAB Pr108 FAS13 Versión 2 % Humedad	
		Capacidad de campo (1/3 atm)	Punto de marchitez permanente (15 atm)
9431	PLANTACION EN GENERAL ESTEROS ACAPAN	40.69	36.29

Estimación de las constantes de humedad capacidad de campo y punto de marchitez permanente: método de la olla de presión a 1/3 y 15 atmósferas de presión.  
 Análisis realizado por subcontratación.

Fecha de ingreso: jueves, 22 de junio de 2023  
 Fecha de ejecución: viernes, 7 de julio de 2023  
 Fecha de entrega: viernes, 7 de julio de 2023  
 Muestra no conforme: NO APLICA  
 Desviación de método: NO APLICA



Ing. Gelver Larios  
 Especialista de Suelos y Aguas

1. Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
  2. Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos por ANALAB.
  3. El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
  4. La reproducción parcial de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- "Todo documento fuera del servidor Control\_Documentos(\lancgua05) y de la carpeta \Publicados se considera una copia no controlada"

Fuente: Anacafé (2023)

## Figura 29

Resultados del análisis de capacidad de campo y punto de marchitez permanente del suelo de la finca Brisas del Mar, realizados en el laboratorio de Anacafé

Orden: 30-2913  
 Cliente: MELANY GONZALEZ  
 Unidad productiva: LOS COCOS Y ANEXOS  
 Localización: CHAMPERICOS, RETALHULE



### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOS DE SUELOS CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE AS-13

No. Laboratorio	Identificación	LAB Pr108 FAS13 Versión 2 % Humedad	
		Capacidad de campo (1/3 atm)	Punto de marchitez permanente (15 atm)
9433	PLANTACION EN GENERAL COCOS Y ANEXOS	41.11	36.50

Estimación de las constantes de humedad capacidad de campo y punto de marchitez permanente: método de la olla de presión a 1/3 y 15 atmósferas de presión.  
 Análisis realizado por subcontratación.

Fecha de ingreso: jueves, 22 de junio de 2023  
 Fecha de ejecución: martes, 4 de julio de 2023  
 Fecha de entrega: viernes, 7 de julio de 2023  
 Muestra no conforme: NO APLICA  
 Desviación de método: NO APLICA



Ing. Gelver Larios  
 Especialista de Suelos y Aguas

1. Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
  2. Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos por ANALAB.
  3. El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
  4. La reproducción parcial de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- "Todo documento fuera del servidor Control\_Documentos(\nangua05) y de la carpeta \Publicados se considera una copia no controlada"

Fuente: Anacafé (2023)

## Figura 30

Resultados del análisis de propiedades físicas del suelo de la finca Esteros de Acapán, realizados en el laboratorio de Anacafé

Orden: 30-2910  
 Cliente: MELANY GONZALEZ  
 Unidad productiva: LOS ESTORES  
 Localización: CHAMPERICO, RETALHULEU



### INFORME DE ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO AS-12

LAB\_Pr108\_FAS12 Versión 2

Propiedades físicas		Gramos por centímetro cúbico (g/cc)		Porcentaje (%)
No. De laboratorio	Identificación de la muestra	Densidad aparente	Densidad de partículas	Porosidad
9430	PLANTACION EN GENERAL ESTEROS ACAPAN	1.33	2.60	48.89

Densidad aparente: método de la probeta (muestra disturbada).  
 Densidad de partículas: determinación matemática.  
 Porcentaje de porosidad: determinación matemática.  
 Centímetros cúbicos (cc).  
 Gramos (g).

Fecha de ingreso: jueves, 22 de junio de 2023  
 Fecha de ejecución: viernes, 7 de julio de 2023  
 Fecha de entrega: viernes, 7 de julio de 2023  
 Muestra no conforme: NO APLICA  
 Desviación de método: NO APLICA



Ing. Gelver Larios  
 Especialista de Suelos y Aguas

1. Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
  2. Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos por ANALAB.
  3. El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
  4. La reproducción parcial de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- "Todo documento fuera del servidor Control\_Documentos(\lanngua05) y de la carpeta \Publicados se considera una copia no controlada"

Fuente: Anacafé (2023)

## Figura 31

Resultados del análisis de propiedades físicas del suelo de la finca Brisas del Mar, realizados en el laboratorio de Anacafé

Orden: 30-2912  
 Cliente: MELANY GONZALEZ  
 Unidad productiva: LOS COCOS Y ANEXOS  
 Localización: CHAMPERICO, RETALHULEU



### INFORME DE ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO AS-12

Propiedades físicas		Gramos por centímetro cúbico (g/cc)		Porcentaje (%)
No. De laboratorio	Identificación de la muestra	Densidad aparente	Densidad de partículas	Porosidad
9432	PLANTACION EN GENERAL COCOS Y ANEXOS	1.26	2.60	51.60

Densidad aparente: método de la probeta (muestra disturbada).  
 Densidad de partículas: determinación matemática.  
 Porcentaje de porosidad: determinación matemática.  
 Centímetros cúbicos (cc).  
 Gramos (g).

Fecha de ingreso: jueves, 22 de junio de 2023  
 Fecha de ejecución: viernes, 7 de julio de 2023  
 Fecha de entrega: viernes, 7 de julio de 2023  
 Muestra no conforme: NO APLICA  
 Desviación de método: NO APLICA

Especialista de suelos  
 Gelver Larios

1. Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
  2. Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos por ANALAB.
  3. El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
  4. La reproducción parcial de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- "Todo documento fuera del servidor Control\_Documentos(\lanogua05) y de la carpeta \Publicados se considera una copia no controlada"

Fuente: Anacafé (2023)

## Anexo 2: Entrevistas

### Entrevista 1

Ficha de entrevista a entes participantes en las restauraciones con fines energéticos de  
Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN  
AMBIENTAL LOCAL



#### Restauración con fines energéticos

Nombre de la finca: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

1. ¿Fecha en la que se realizó la restauración con fines energéticos?  
\_\_\_\_\_
2. Condiciones de la restauración:
  - ¿Poseen acceso de agua durante todo el año?  
\_\_\_\_\_
  - ¿Cuáles son sus fuentes de agua?  
\_\_\_\_\_
  - ¿Poseen un cercado o alguna barrera de protección?  
\_\_\_\_\_
  - ¿Cercanía de las viviendas para el cuidado de este?  
\_\_\_\_\_
  - ¿Accesibilidad para el transporte de personas, materiales herramientas, plantas e insumos?  
\_\_\_\_\_
3. ¿Entidades que apoyaron la restauración con fines energéticos?  
\_\_\_\_\_
4. ¿Para el establecimiento de la restauración se utilizaron las herramientas de?

- Pala recta
- Estacas
- Tijeras de podar
- Cordel
- Pico
- Fundas
- Zaranda
- Regadera
- Sarán
- Carretilla
- Bomba de mochila
- Manguera para el riego
- Azadón
- Entre otras: \_\_\_\_\_

5. ¿Cuáles son las cantidades de cada herramienta que utilizaron?

Año	Herramientas	Cantidad

6. ¿Cuáles son los insumos que utilizaron para el establecimiento de la restauración (semillas, estacas, esquejes, abono orgánico, arena de río, tierra negra y productos fitosanitarios)?

- Semillas  
 Plantas  
 Esquejes  
 Abono orgánico  
 Arena de río  
 Tierra negra  
 Productos (fitosanitarios)  
 Entre otra: \_\_\_\_\_

7. ¿Cuáles son las cantidades de los insumos que utilizaron?

Año	Insumos	Cantidad

8. ¿Utilizan de abonos orgánicos (tipo de abonos)?

9. ¿Utilizan fertilizantes químicos (tipo de fertilizantes)?

10. ¿Especie de plántulas que utilizaron para realizar la restauración?

11. ¿Cantidad de plántulas sembradas desde el inicio de la restauración?

Año	Especie	Cantidad

12. ¿Con que frecuencia realizan riegos en el área restaurada?  
\_\_\_\_\_
13. ¿Cuál es la frecuencia en que realizan de limpieza (Limpias, plateos, podas, raleos, etc.) en la restauración?  
\_\_\_\_\_
14. ¿Cuál es la frecuencia en que realizan de actividades de fertilización en la restauración?  
\_\_\_\_\_
15. ¿Cuál es la frecuencia en que realizan de monitoreos para detectar plagas y enfermedades en la restauración?  
\_\_\_\_\_
16. ¿Cuál es la frecuencia en que aplican repelentes y productos químicos en la restauración?  
\_\_\_\_\_
17. ¿Cuál es la frecuencia en que realizan de monitoreos para prevenir incendios forestales en la restauración?  
\_\_\_\_\_
18. ¿Cuál es la frecuencia en que realizan el mantenimiento de las rondas cortafuego de la restauración?  
\_\_\_\_\_
19. ¿Ultimas replantaciones en la restauración?  
\_\_\_\_\_
20. ¿Cuántas personas participan en las actividades (siembra, riego, etc)?  
\_\_\_\_\_
21. ¿Cuál es la cantidad de especies por hectárea dentro de la restauración?  
\_\_\_\_\_
22. Área total de la restauración:  
\_\_\_\_\_

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

## Entrevista 2

Ficha de entrevista a comunitarios de las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán,  
Champerico, Retalhuleu



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN  
AMBIENTAL LOCAL



### Entrevista a comunitarios

Nombre de la finca: \_\_\_\_\_

Comunitario (a): \_\_\_\_\_

1. ¿Se ha vendido leña dentro de la finca?  
\_\_\_\_\_
2. ¿A qué precio se ha vendido la tarea de leña dentro de la finca?  
\_\_\_\_\_
3. ¿Cuánto le paga al motosierrista por el metro cubico de leña?  
\_\_\_\_\_
4. ¿Cuánto le cobran en el transporte de la leña hasta su punto de venta?  
\_\_\_\_\_
5. ¿Cuál es el punto de venta de la leña?  
\_\_\_\_\_

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

## Entrevista 3

Ficha de entrevista a tortilleras comunitarias dentro de las fincas Brisas del Mar y  
Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE  
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN  
AMBIENTAL LOCAL



### Entrevista a tortilleras comunitarias

Nombre del entrevistado (a): \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

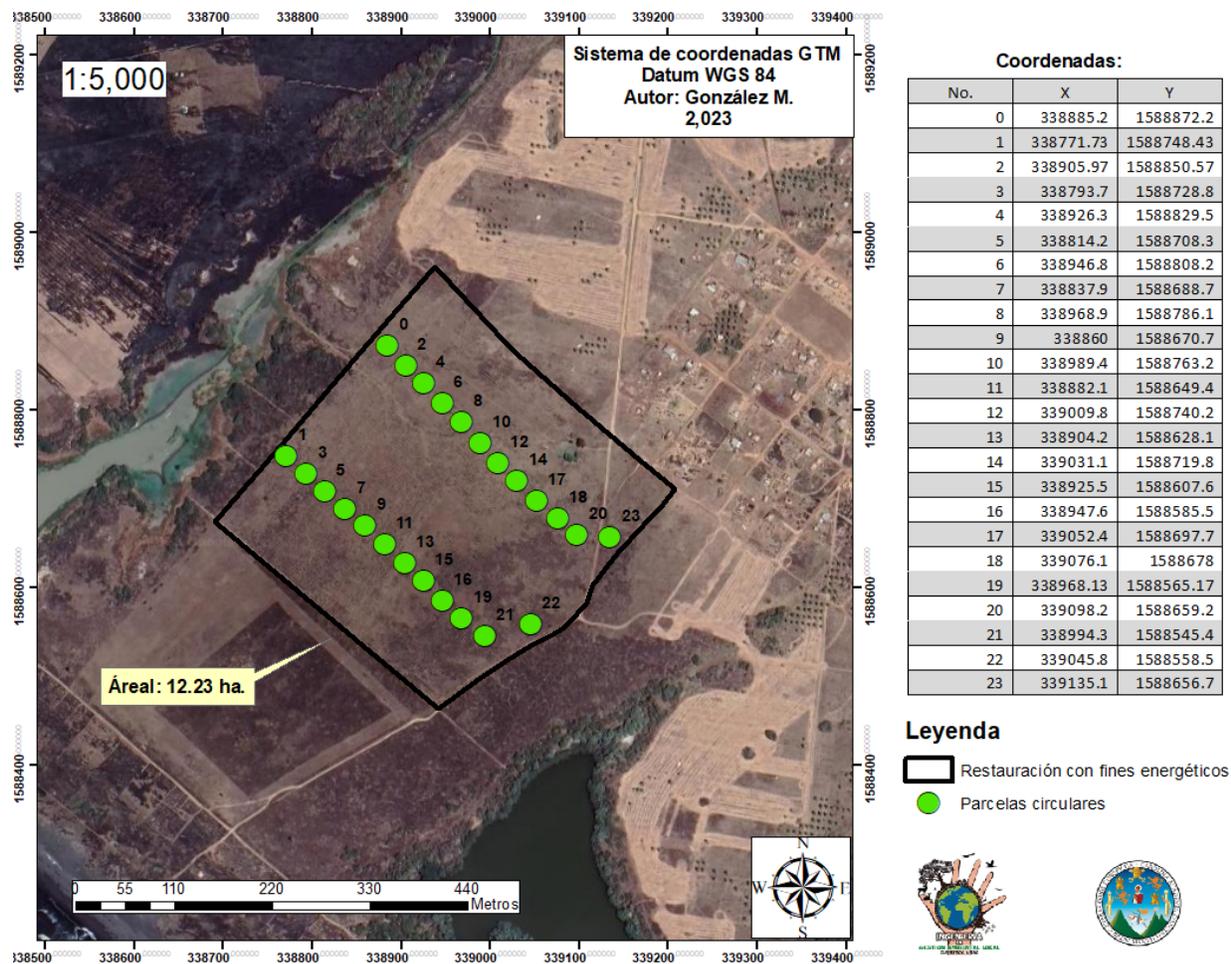
1. ¿A cuánto compra usualmente la tarea de leña?  
\_\_\_\_\_
2. ¿Cuál es el punto de venta donde compra la leña?  
\_\_\_\_\_
3. ¿Qué especies de árboles le venden en la compra de leña?  
\_\_\_\_\_
4. ¿En cuánto tiempo se gasta una tarea de leña?  
\_\_\_\_\_

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Anexo 3: Mapas de localización

Figura 32

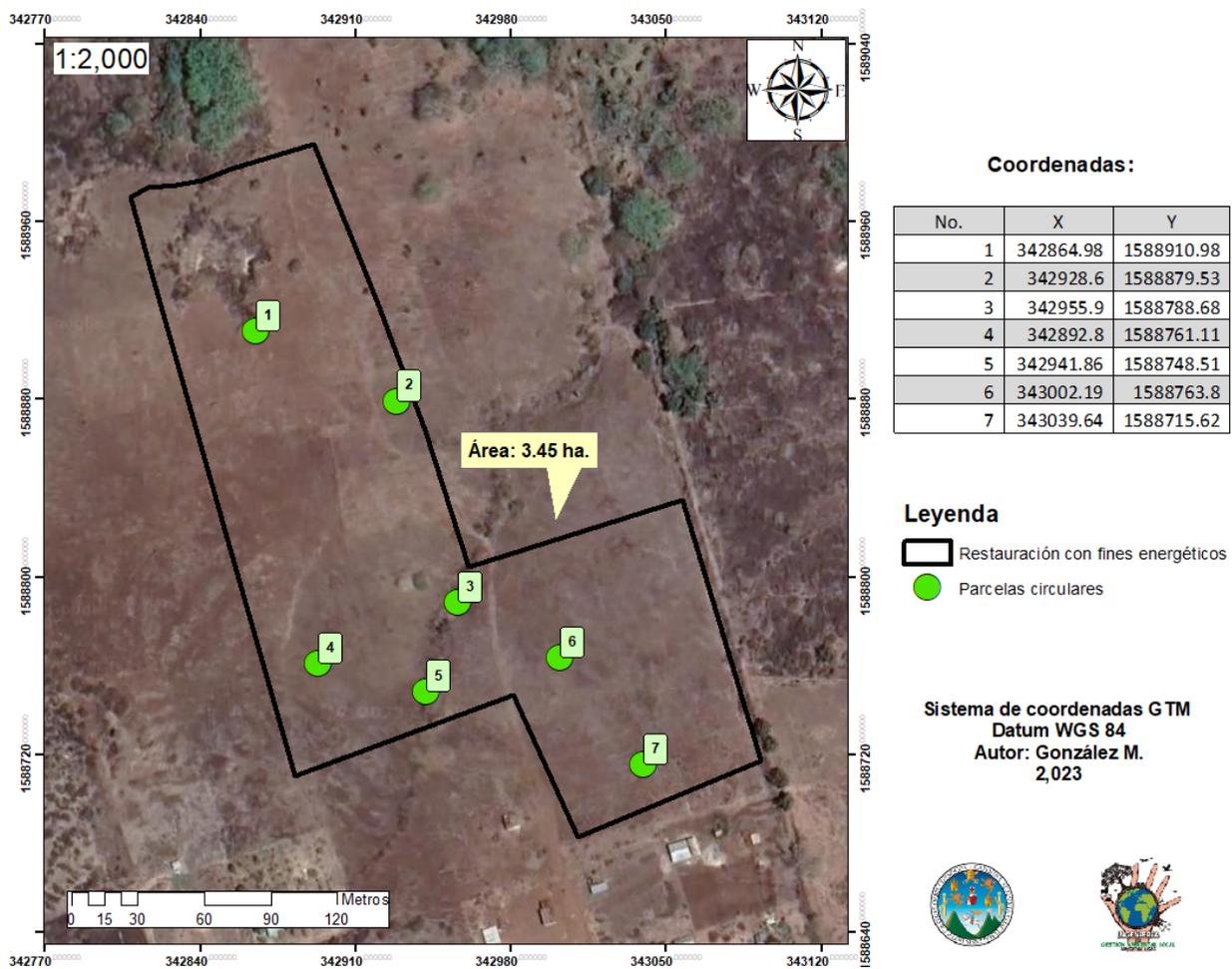
Distribución de parcelas de muestreo en el área de la restauración con fines energéticas en la finca Brisas del Mar



Fuente: SHP, MAGA (2022)

**Figura 33**

Distribución de parcelas de muestreo en el área de la restauración con fines energéticas en la finca Esteros de Acapán



Fuente: SHP, MAGA (2022)

**Figura 34**

Distribución de puntos para el análisis del suelo en la finca Brisas del Mar



Coordenadas;

No.	x	y
1	338792.975	1588679.73
2	338881.618	1588763.37
3	338948.677	1588893.58
4	339151.841	1588706.6
5	339027.474	1588659.15
6	338942.205	1588586.85

**LEYENDA**

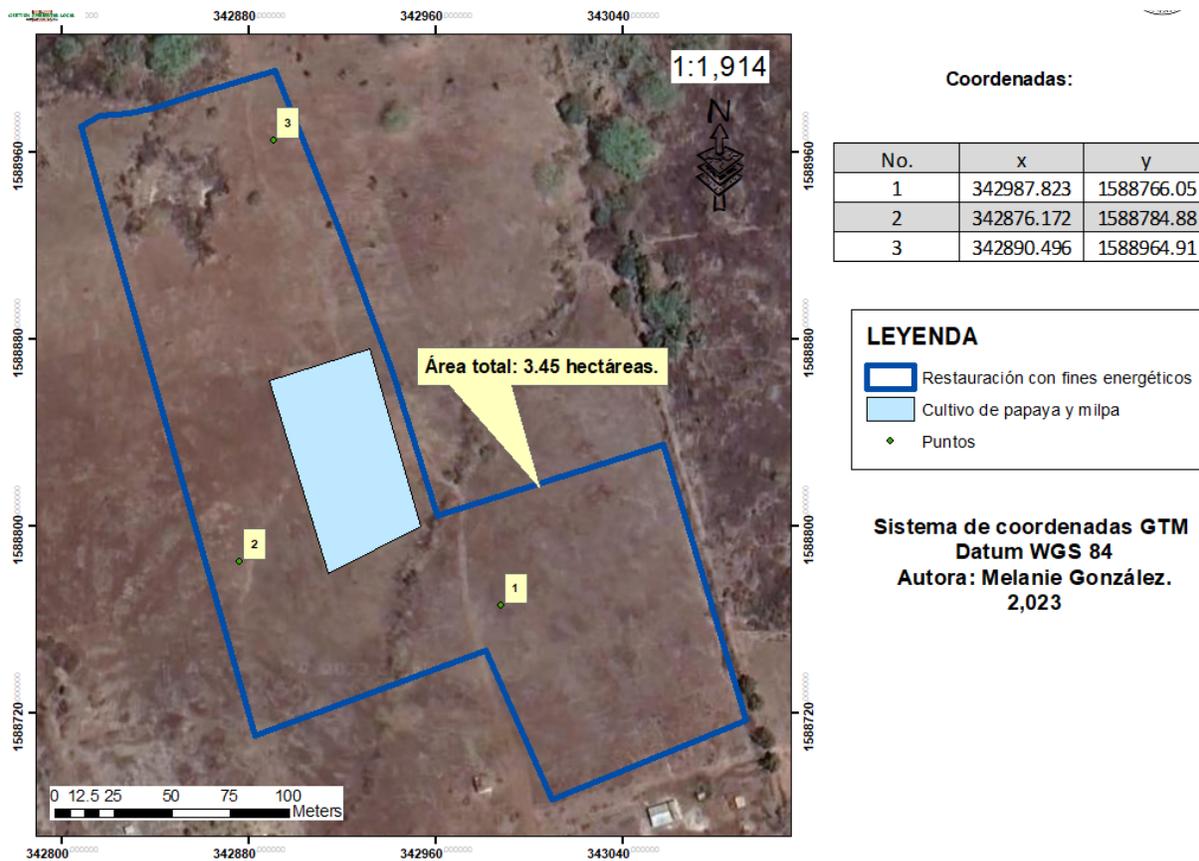
- Restauración con fines energéticos
- ◆ Muestras

**Sistema de coordenadas GTM**  
**Datum WGS84**  
**Autora: Melanie González.**  
**2,023**

**Fuente:** SHP, MAGA (2022)

**Figura 35**

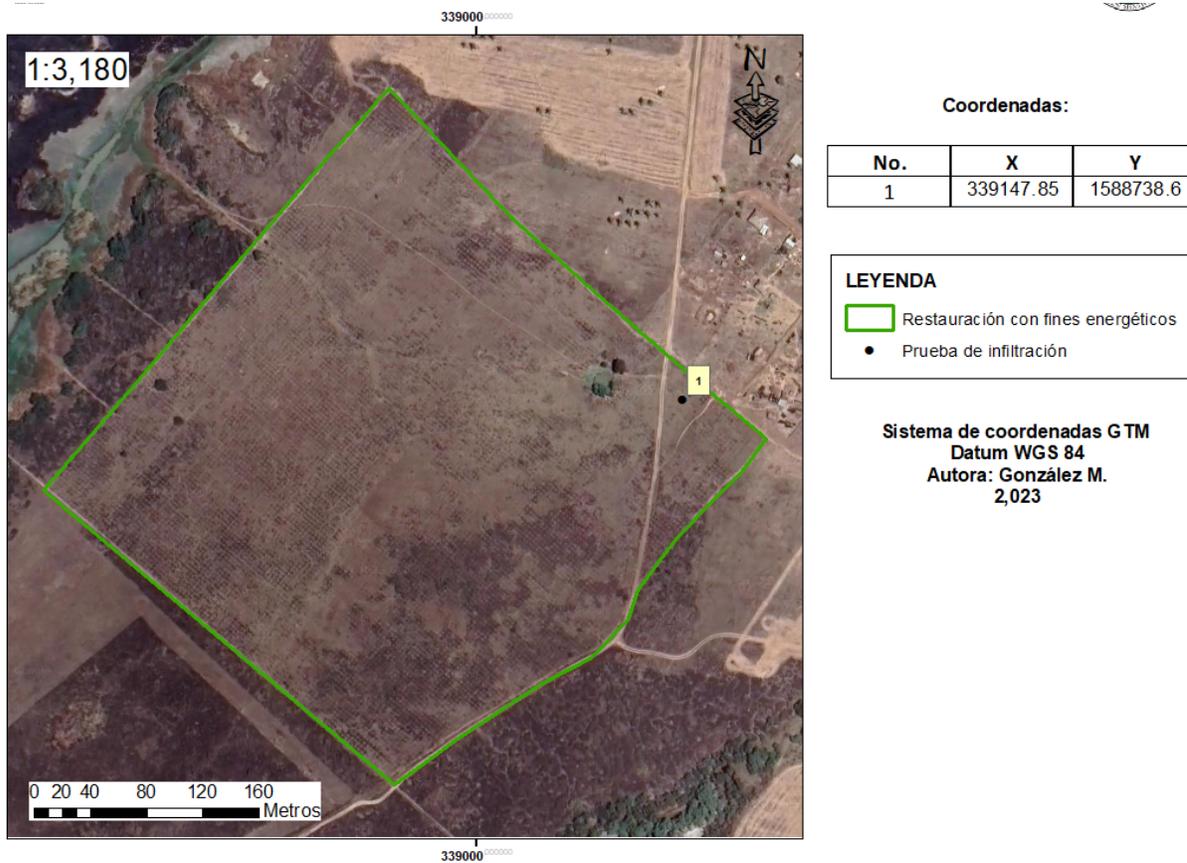
Distribución de puntos para el análisis del suelo en la finca Esteros de Acapán



Fuente: SHP, MAGA (2022)

**Figura 36**

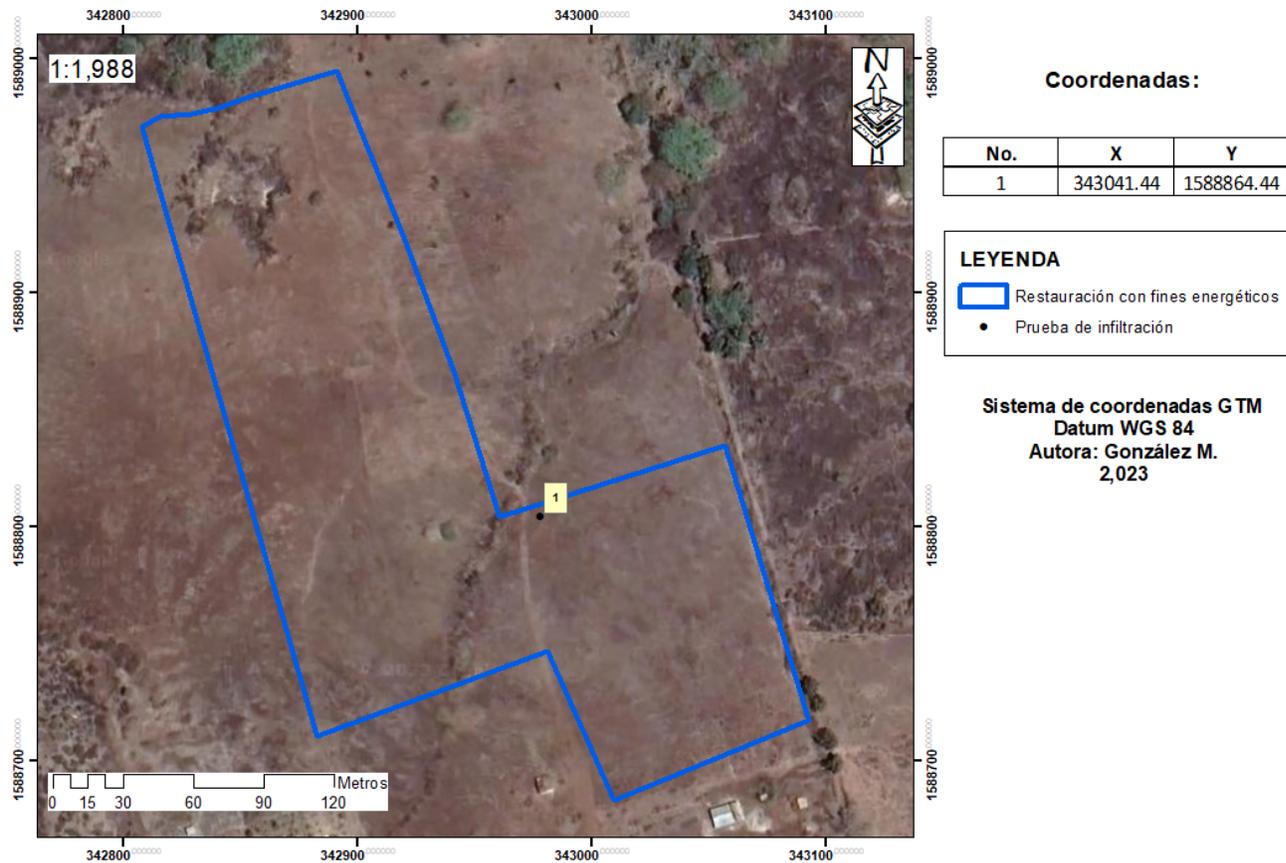
Mapa de ubicación de la prueba de infiltración en la finca Brisas del Mar



Fuente: SHP, MAGA (2022)

**Figura 37**

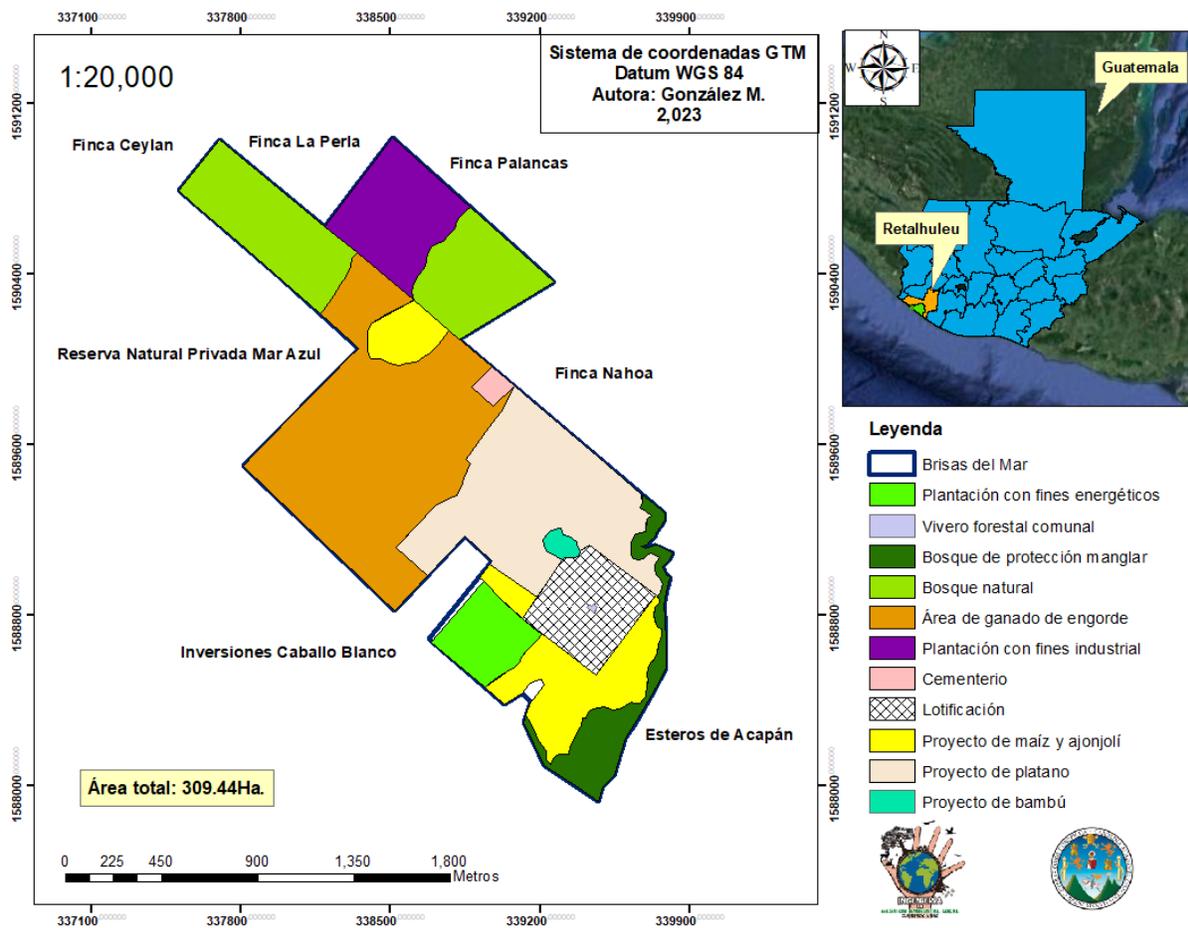
Mapa de ubicación de la prueba de infiltración en la finca Esteros de Acapán



**Fuente:** SHP, MAGA (2022)

**Figura 38**

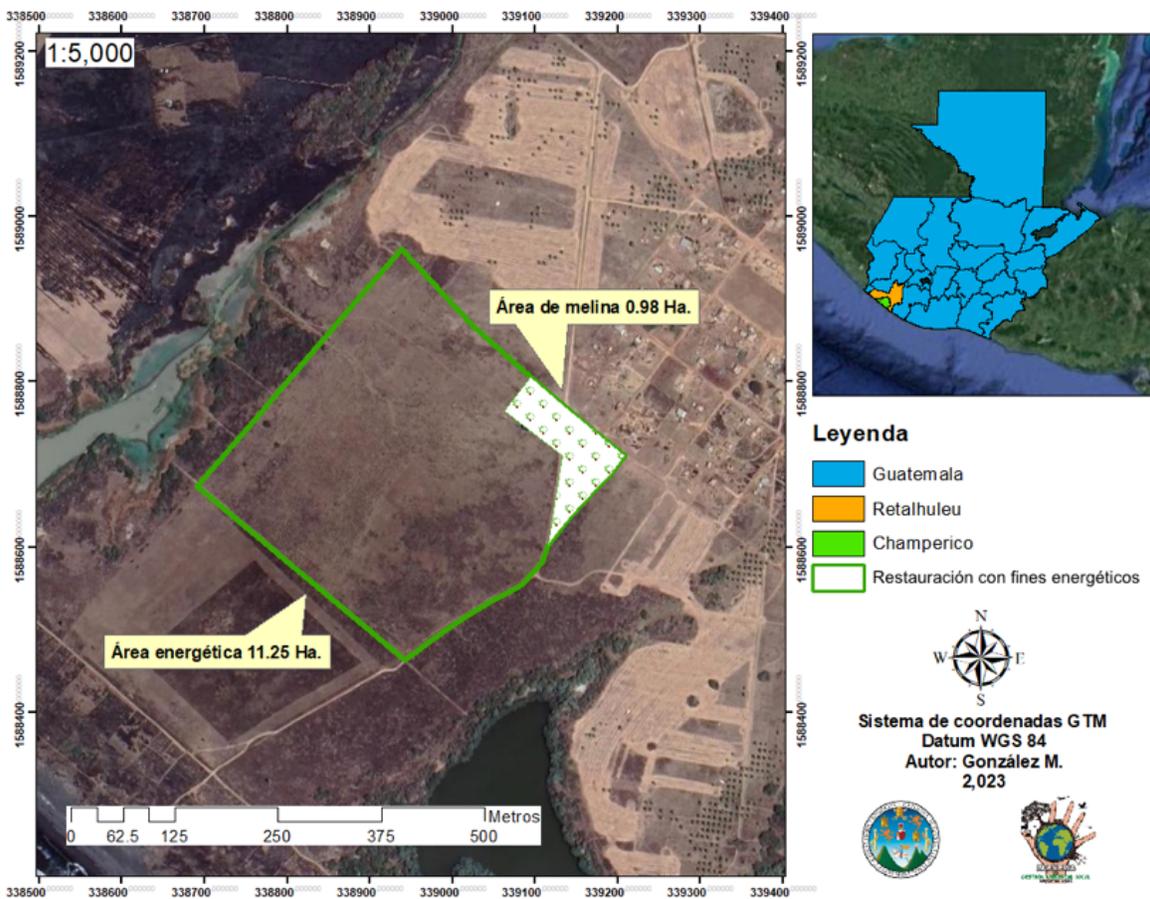
**Mapa del uso actual de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu**



**Fuente:** SHP, MAGA (2022)

**Figura 39**

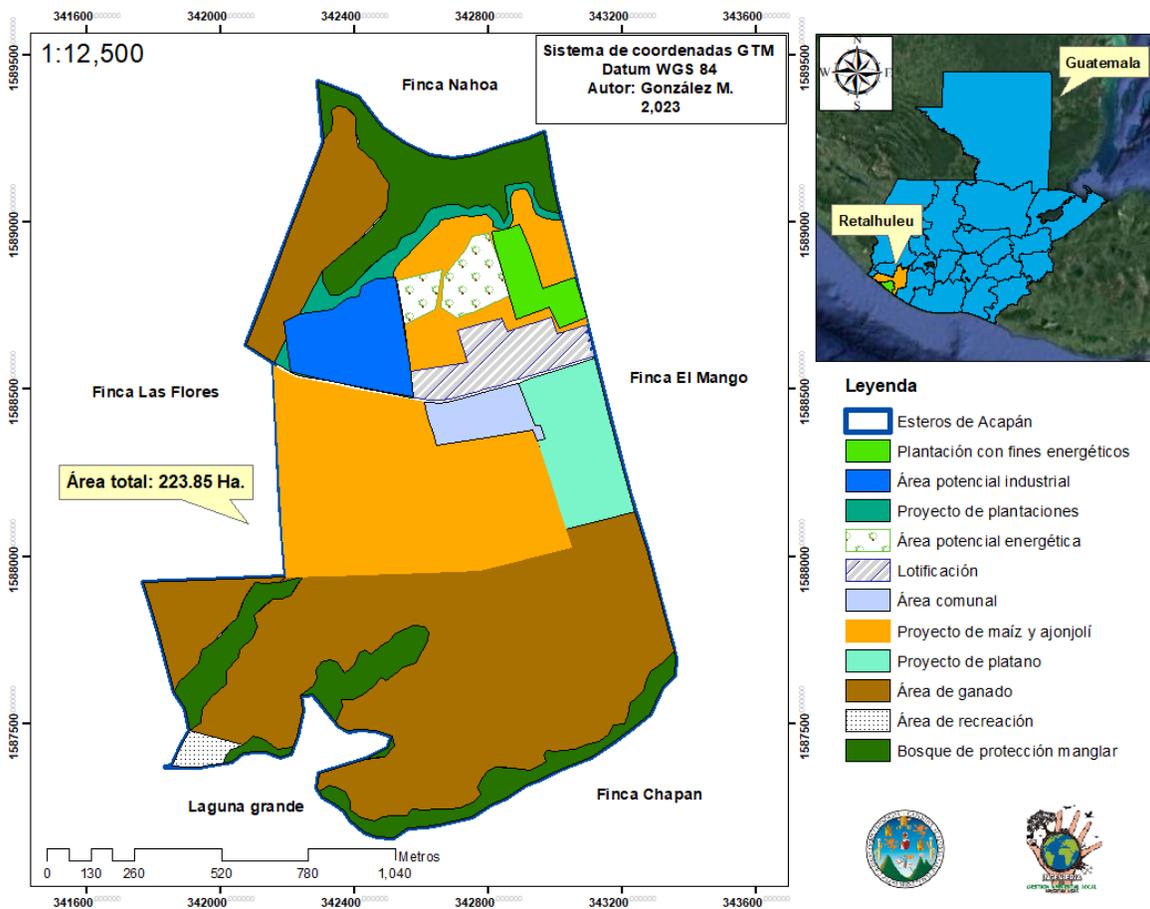
Mapa de la restauración con fines energéticos de la finca Brisas del Mar, Champerico, Retalhuleu



Fuente: SHP, MAGA (2022)

**Figura 40**

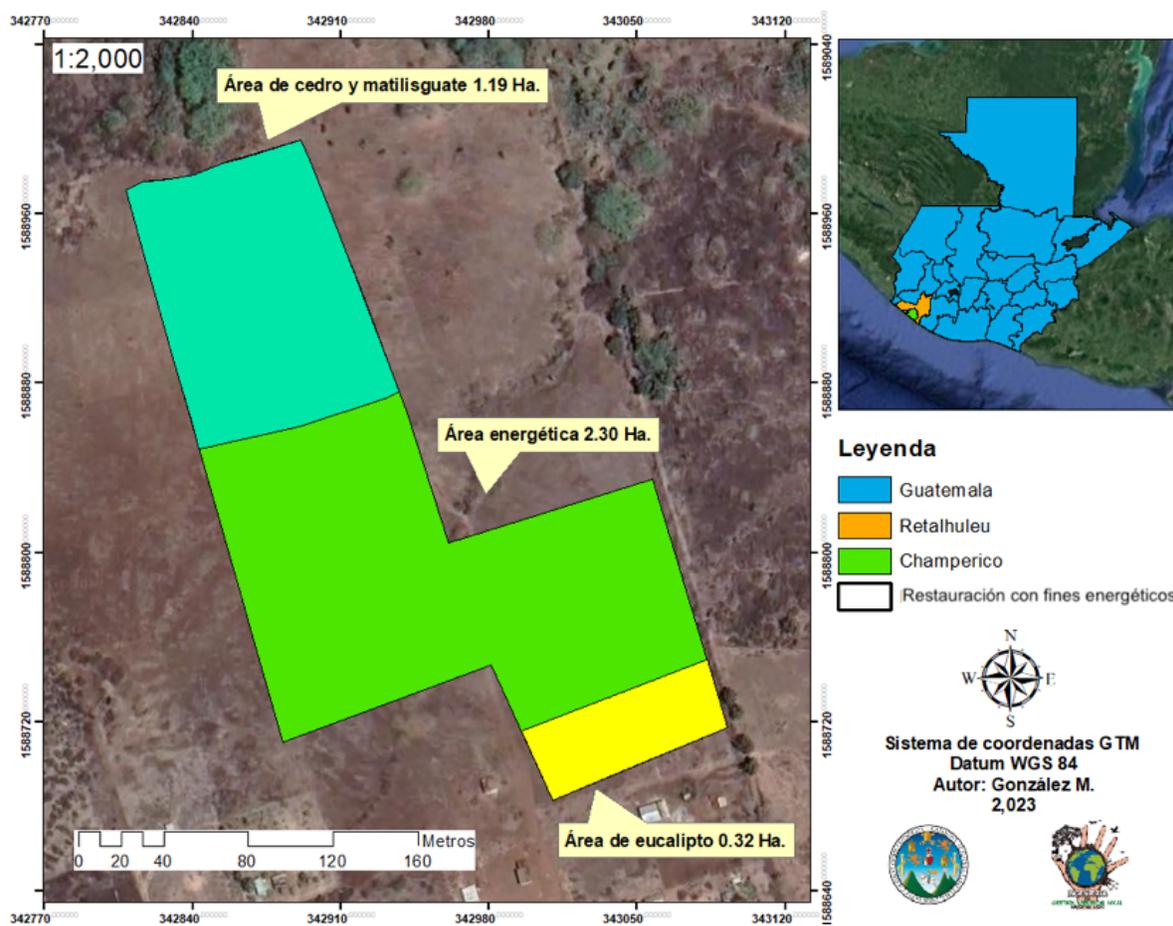
**Mapa del uso actual de la finca Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu**



Fuente: SHP, MAGA (2022)

**Figura 41**

Mapa de la restauración con fines energéticos de la finca Esteros de Acapán,  
Champerico, Retalhuleu



Fuente: SHP, MAGA (2022)

**Anexo 4: Boletas de campo****Tabla 16**

Boleta de campo para identificar la degradación arbórea de las áreas de estudio

Degradación arbórea									
Finca									
Área (ha) de la restauración									
No. de parcela:					Fecha:				
No.	Especie	Altura (m)	Daño mecánico		Estado fitosanitario			Mortalidad	
			1	2	1	2	3	1	2
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

Fuente: Elaboración propia (2023)

**Tabla 17**

Boleta de campo para identificar la degradación del suelo de las áreas de estudio

Degradación del suelo								
Finca								
No. de parcela:								
Nombre del evaluador:						Fecha:		
No. de muestreo	Coordenadas GTM o WGS 84		Indicadores					Total
	x	y	Textura	Porosidad	Compactación	Erosión	Profundidad	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
<b>Promedio</b>								

**Fuente:** Elaboración propia (2023)



**Tabla 19**

Boleta de campo para estimar la captación de carbono en los árboles de las áreas de estudio

Captación de carbono				
No. Parcela				
Finca				
Maleza:			Hojarasca:	
No.	Especie	Altura (m)	Diámetro base inferior (m)	Diámetro base superior (m)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

Fuente: Elaboración propia (2023)

Tabla 20

Boleta de datos representativos del flujo de caja

Datos	2020	2021	2022	2023
<b>Ingresos</b>				
Incentivos forestales				
Venta de leña				
<b>TOTAL</b>				
<b>Egresos</b>				
<b>Activos fijos</b>				
Terreno				
Viáticos				
Donación				
Depreciación del vehículo				
Arrendamiento con opción a compra				
Herramientas				
Machete				
Pala				
Azadón				
Bomba de aspersión				
Pico				
Insumos				
Herbicidas				
Fertilizante				
Mano de Obra				
Mantenimiento anual				
Vivero				
Delimitación del terreno				
Trazado				
Ahoyado				
Transporte de insumos				
Establecimiento de plantación				
Replantación				
Riego				
Limpias				
Plateos				
Rondas cortafuego				
Motosierrista				
Transporte de leña				
Asistencia técnica profesional				
Técnico de Fondo de tierras				
Técnico de INAB				
Consultor de Rainforest Alliance				
Universidad Rural				
Universidad San Carlos de Guatemala				
Municipalidad de Champerico (UGAM)				
Instituto privado de Cambio Climático				
<b>TOTAL</b>				

Fuente: Elaboración propia (2023)

**Tabla 21**

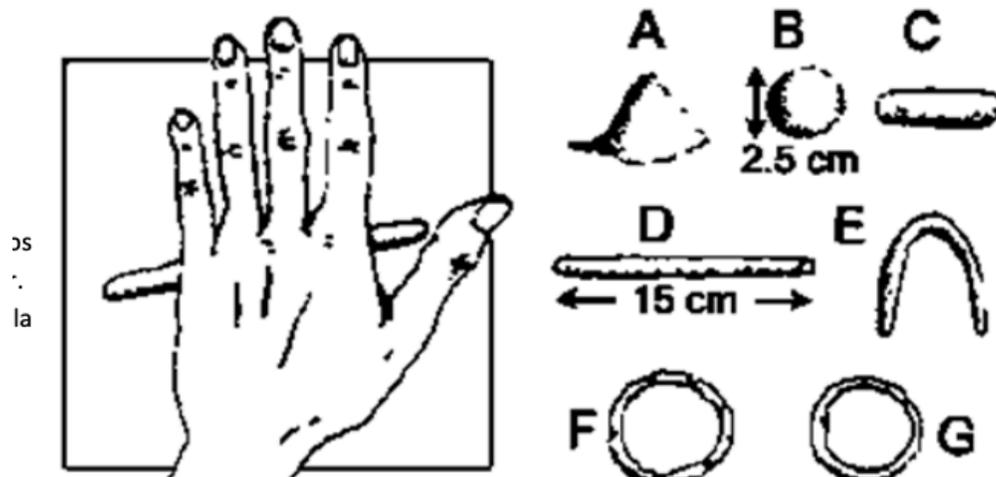
Especies que se utilizan en la calculadora de carbono elaborada por INAB

<b>No.</b>	<b>Especie</b>	<b>Índice de sitio</b>
1	Pinabete	8.58 m (único)
2	Cedro Rosado	16.7m (pésimo)
3	Aliso	13.92 m (único)
4	Nim	6.51 m (malo)
5	Aripín	8.03 m (único)
6	Santa María	11.72 m (único)
7	Casuarina	7.1m (único)
8	Cedro	7 m (único)
9	Cipres común	6 m (pésimo)
10	Conacaste	9 m (único)
11	Melina	28.35 m (excelente)
12	Caulote	6.54 m (único)
13	Canoj	13.33 m (único)
14	Pino Caribe	9.43 m (pésimo)
15	Pino Candelillo	8.18 m (pésimo)
16	Pino Ocote	5.92 m (pésimo)
17	Pino Pátula	8.53 m (pésimo)
18	Pino Triste	8.32 m (pésimo)
19	Palo de sangre	11.21m (pésimo)
20	Casia	10.17 m (único)
21	Palo Volador	14.47m (único)
22	Caoba	8.4 m (pésimo)
23	Palo Blanco	7.9 m (pésimo)
24	Matiliguato	13.73 m (excelente)
25	Teca	7.6 m (pésimo)
26	Pukté	9.92 m (único)
27	Guayabon	14.47m (único)
28	San Juan	--

**Fuente:** Calculadora de carbono Plantaciones Forestales elaborada por INAB (2023)

**Anexo 5:** Representación de la composición del suelo**Figura 42**

Imagen representativa del indicador de textura

**Fuente:** INAB (2023, pp.1-7)

**Tabla 22**

Tipo de amasado según la textura

Tipo	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>Tex.</b>	Arena	Franco arenoso	Franco limosa	Franca	Franca arcillosa	Arcilla Liviana	Arcilla	Talpetate
<b>Con d.</b>	Pobre	Pobre	Bueno	Bueno	Moderado	Moderado	Pobre	Extrema
<b>Pon.</b>	1	1	3	3	2	2	1	0
<b>Met.</b>	El suelo permanece suelto y en granos simples y puede ser amontonado, pero no moldeado.	Puede ser moldeado en forma esférica y se desgrana fácilmente; con más sedimentos.	Puede ser enrollable en cilindros cortos y es llamado limo.	Partes iguales de arena, sedimentos y arcilla que pueden ser amasadas en una trenza gruesa de 15 cm de largo que se rompe al doblarse.	El suelo puede ser amasado como en D, pero puede ser cuidadosamente doblado en U sin romperse.	El suelo es suave y al doblarse en un círculo se agrieta un poco.	Se maneja como plastilina y puede ser doblado en un círculo sin agrietarse.	Roca madre (capa terrestre del subsuelo formada de piedra caliza y arena).

Fuente: INAB (2023, pp.1-7)

**Figura 43**

Imagen representativa del indicador de porosidad



Buena



Moderada

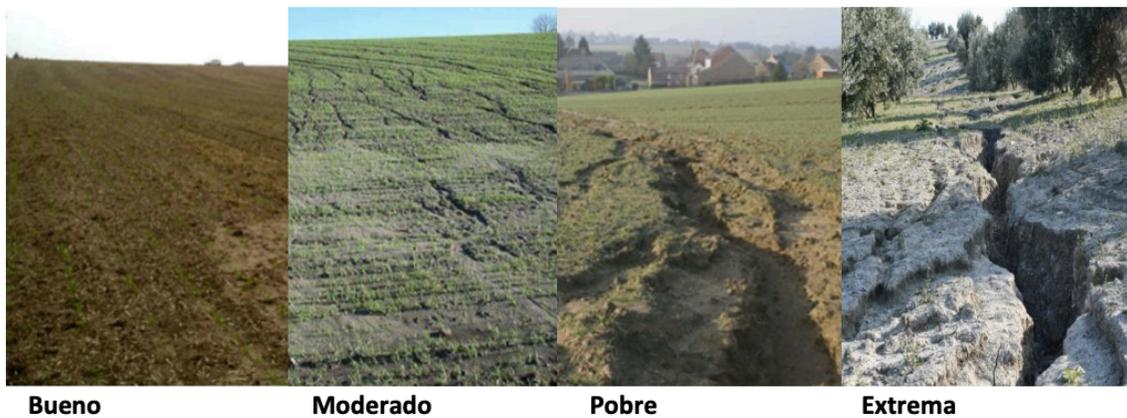


Pobre

Fuente: INAB (2023, pp.1-7)

**Figura 44**

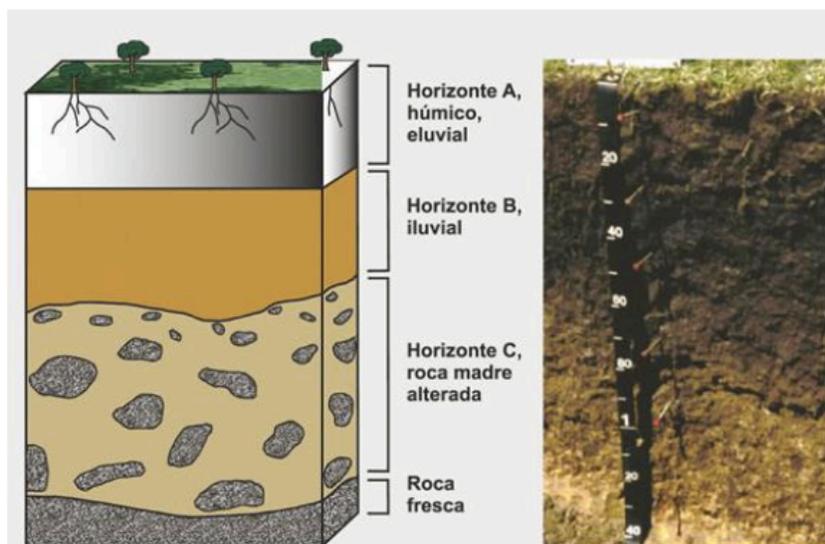
Imagen representativa del indicador de erosión



Fuente: INAB (2023, pp.1-7)

**Figura 45**

Imagen representativa del indicador de profundidad



Fuente: INAB (2023, pp.1-7)

**Figura 46**

Actividad sobre la degradación del suelo en la finca Brisas del Mar



**Fuente:** Elaboración propia (2023)

**Figura 47**

Actividad sobre la degradación del suelo en la finca Esteros de Acapán



**Fuente:** Elaboración propia (2023)



Mazatenango, 01 de abril del 2024

Coordinadora de carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
CUNSUROC

Respetable Coordinadora:

Muy respetuosamente me dirijo a usted, para presentarle el Informe Final de Servicios titulado " **Informe final de servicios, Instituto Nacional de Bosques (Subregión IX-3): Caracterización de experiencias en restauraciones con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu**", de la estudiante **Melanle Stephanía González Córdova**, carne **201941963**, dentro del programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local. -EPSIGAL-.

Este documento se presenta para que de acuerdo con el artículo 6, inciso 6.4 del Normativo de Trabajo de Graduación, pueda a través de sus buenos oficios darse el procedimiento para poder ser considerado como Trabajo de Graduación, para la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local.

Sin otro particular, con mis más altas muestras de estima y respeto.

Atentamente,

Inga. Agr. Mirna Lucrecia Vela Armas  
Supervisora EPSIGAL  
CUNSUROC



Kawirre  
recibido  
01/04/2024

Mazatenango, 27 de mayo del 2024

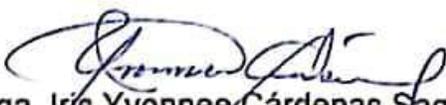
MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
Coordinadora de Carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
CUNSUROC

Apreciable Maestra

Respetuosamente me dirijo a usted, para informarle que de acuerdo con el Artículo 9 del Normativo de **TRABAJO DE GRADUACIÓN** de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, he realizado la revisión y observaciones de la investigación titulada **"Informe final de servicios, Instituto Nacional de Bosques (Subregión IX-3): Caracterización de experiencias en restauraciones con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu"** presentado por la estudiante Melanie Stephanía González Córdova, quien se identifica con CUI 3286 54795 1101 y número de carné 201941963.

Por lo tanto, en mi calidad de revisora le informo, que después de realizar el proceso que me fue asignado y verificar la incorporación de las observaciones por parte de la estudiante a la investigación, procedo a dar **VISTO BUENO** al documento para que se continúe con el proceso de mérito.

Atentamente



Inga. Iris Yvonnee Cárdenas Sagastume  
Revisora de Trabajo de Graduación  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
CUNSUROC

Mazatenango 16 de julio, 2024

Lic. Luis Carlos Muñoz López  
Director en Funciones  
Centro Universitario del Suroccidente

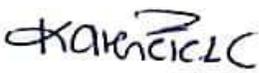
Respetable Señor Director:

De la manera más atenta, me dirijo a usted para referirle el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado "**Informe final de servicios en Instituto Nacional de Bosques (Subregión IX-3): Caracterización de experiencias en restauraciones con fines energéticos en las fincas Brisas del Mar y Esteros de Acapán, Champerico, Retalhuleu**", de la estudiante **Melanie Stephania González Córdova** camé número **201941963**, de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

Con base en el dictamen favorable emitido y suscrito por el revisor del informe, el cual fue corregido de acuerdo a las recomendaciones indicadas.

Por lo tanto, en mi calidad de Coordinadora de la Carrera, me permito solicitarle el **IMPRÍMASE** respectivo para que el estudiante continúe con el proceso de mérito y pueda presentarlo en el Acto Público de Graduación.

Sin otro particular.

  
MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
Coordinadora de Carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
CUNSUROC



  
16/7/2024



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE  
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ  
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

**CUNSUROC/USAC-I-106-2024**

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,  
Mazatenango, Suchitepéquez, el veintitrés de septiembre de dos mil veinticuatro-----

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del Asesor y Revisor, se autoriza la impresión del Trabajo de Graduación Titulado: **"INFORME FINAL DE SERVICIOS EN INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (SUBREGIÓN IX-3): CARACTERIZACIÓN DE EXPERIENCIAS EN RESTAURACIONES CON FINES ENERGÉTICOS EN LAS FINCAS BRISAS DEL MAR Y ESTEROS DE ACAPÁN, CHAMPERICO, RETALHULEU"** de la estudiante: **Melanie Stephania González Córdova**, Carné 201941963 CUI: 3286 54795 1101 de la Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

M.A. Luis Carlos Muñoz López  
Director

A blue ink handwritten signature is written over a circular official stamp. The stamp contains the text "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA" around the top edge, "CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE" around the bottom edge, and "DIRECCION" in the center.

/gris