



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LAS
ÁREAS REFORESTADAS DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS
AMBIENTALES**

AUTOR

LÓPEZ LLERENA JENIFFER DAYANA

TUTOR

BLGO. RAUL ENRIQUE ARIZAGA GAMBOA

GUAYAQUIL, ECUADOR

2025



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LAS ÁREAS REFORESTADAS DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS AMBIENTALES**, realizado por la estudiante **LOPEZ LLERENA JENIFFER DAYANA**; con cédula de identidad N° **0950985895** de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, sede matriz “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”- **GUAYAQUIL**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Blgo. Raul Enrique Arizaga Gamboa, Msc.

Guayaquil, 2 de septiembre del 2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LAS ÁREAS REFORESTADAS DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS AMBIENTALES”, realizado por la estudiante LOPEZ LLERENA JENIFFER DAYANA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Fanny Rodríguez Jarama
PRESIDENTE

Ing. Diego Arcos Jácome
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Jaime Cadena Iturralde
EXAMINADOR PRINCIPAL

Blgo. Raul Enrique Arizaga Gamboa
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 2 de septiembre del 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi papá Marcelo, mis hermanas Betty, Maritza, Paulina, Cinthya y mi hermano Johnny ellos fueron el principal apoyo para que lograré cumplir esta meta, fueron mi motivación todos los días de mi vida y en mi vida académica.

A mi gatita Mimi que me acompañó durante todos estos años y a mi nueva compañera Sisa.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a VEOLIA por apoyarme en todo el trayecto de la investigación, a todo el equipo de Sostenibilidad de INTERAGUA por sus consejos para mejorar profesional y académicamente.

La empresa ECOMAG S.A. por acompañarme a las visitas de campo y el excelente grupo de trabajadores que estuvieron durante este proceso.

Andrea, Baptiste y todos mis amigos por cuidarme, ayudarme y todas las sugerencias que me han dado durante estos años para que lograra culminar mi carrera.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo LOPEZ LLERENA JENIFFER DAYANA, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LAS ÁREAS REFORESTADAS DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS AMBIENTALES” para optar el título de INGENIERA AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 2 de septiembre del 2025

LOPEZ LLERENA JENIFFER DAYANA

C.I. 0950985895

RESUMEN

El presente estudio se enfoca en la importancia de la reforestación en el cantón Petrillo, Ecuador, con especies arbóreas como estrategia para la compensación de la huella de carbono en una empresa de servicios ambientales. Para ello, se identificaron y mapearon 30 especies de *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* mediante el uso del Sistema de información geográfica, lo que permitió determinar su distribución y evaluar su potencial captura de carbono. A través de mediciones dasométricas, se aplicaron ecuaciones alométricas en cada especie para estimar la biomasa, carbono y CO₂ almacenado, siendo utilizado el método T de Student para la comparación entre ambas especies. Dando como resultado que la teca captura 0.86 t de carbono (C) y 3.17 t de CO₂ en los 30 individuos analizados, mientras que guasmo registró 0.37 ton de C y 1.37 t de CO₂. A escala de hectárea la especie *Tectona grandis* almacenó 17.99 t/ha de C, mientras que *Guazuma ulmifolia* presenta menor captación con 7.69 t/ha de C. Con base en estos hallazgos, se propone un plan de reforestación con especies con mayor captura de carbono en bosque seco ecuatoriano, contribuyendo a la restauración de áreas deforestadas y la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: Captura de carbono, Captura de CO₂, Ecuaciones alométricas, Especies nativas, Reforestación

ABSTRACT

This study focuses on the importance of reforestation in the canton of Petrillo, Ecuador, with tree species as a strategy to compensate for the carbon footprint in an environmental services company. For this, 30 individuals of *Tectona grandis* (teak) and *Guazuma ulmifolia* were identified and mapped using a Geographic Information System (GIS), which allowed to determine their distribution and evaluate their potential carbon capture. Through tree measurements, allometric equations were applied to each species to estimate biomass, carbon, and stored CO₂, using the student's t-test to compare both species. The results showed that teak captured 0.86 tons of carbon (C) and 3.17 tons of CO₂ in the 30 individuals analyzed, while *Guazuma ulmifolia* captured 0.37 t of C and 1.37 t of CO₂. At the hectare scale, *Tectona grandis* stored 17.99 t/ha of C, while *Guazuma ulmifolia* stored less with 7.69 t/ha of C. Based on these findings, a reforestation plan is proposed with species of higher carbon capture in the Ecuadorian dry forest, contributing to the restoration of deforested areas and the mitigation of climate change.

Keywords: Carbon capture, CO₂ capture, Allometric equations, Native species, Reforestation

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1 Antecedentes del problema	17
1.2 Planteamiento y formulación del problema	18
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	18
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	20
1.3 Justificación de la investigación	20
1.4 Delimitación de la investigación	21
1.5 Objetivo general	22
1.6 Objetivos específicos	22
1.7 Hipótesis	22
2 MARCO TEÓRICO	23
2.1 Estado del arte	23
2.2 Bases teóricas	29
2.2.1 <i>Cambio climático</i>	29
2.2.2 <i>Gases de efecto Invernadero</i>	29
2.2.3 <i>Dióxido de carbono (CO₂)</i>	30
2.2.4 <i>Huella de carbono (HdC)</i>	30
2.2.5 <i>Especies arbóreas</i>	30
2.2.6 <i>Bosques secos en la costa</i>	31
2.2.7 <i>Clima</i>	31
2.2.7.1. Suelo	31
2.2.8 <i>Árbol Teca</i>	32
2.2.8.1. Taxonomía Teca (<i>Tectona grandis</i>)	32
2.2.9 <i>Árbol Guasmo</i>	32
2.2.9.1. Taxonomía Guasmo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	33

2.2.10 Comparación entre el teca y guasmo.....	33
2.2.11 Ciclo de carbono.....	33
2.2.12 Síntesis de carbono (fotosíntesis)	34
2.2.13 Fijación de carbono en especies arbóreas	34
2.2.14 Proceso de captura de carbono	34
2.2.15 Ecuaciones alométricas.....	34
2.2.16 Desarrollo de ecuaciones alométricas.....	34
2.2.16.1. Tipos de ecuaciones alométricas	35
2.2.16.2. Biomasa	35
2.2.16.3. Factores de conversión de biomasa a carbono.....	36
2.2.16.4. Métodos de compensación ambiental	36
2.2.16.4.1. Medidas de mitigación.....	36
2.2.16.4.2. Medidas de corrección	36
2.2.16.4.3. Medidas de compensación.....	36
2.3 Marco legal	38
3 MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1 Enfoque de la investigación	46
3.1.1 Tipo y alcance de la investigación	46
3.1.2 Diseño de investigación.....	46
3.2 Metodología	46
3.2.1 Variables.....	46
3.2.1.1. Variable independiente	46
3.2.1.2. Variable dependiente	47
3.2.2 Recolección de datos.....	47
3.2.2.1. Recursos	47
3.2.3 Métodos y técnicas	47

3.2.4 Detallar las áreas donde se encuentran las especies <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> en una empresa de servicios ambientales mediante el uso de SIG.	47
3.2.5 Comparar la capacidad de captura de carbono de cada especie presente en el área de estudio mediante estadística descriptiva.	48
3.2.5.1. Medición de diámetro altura al pecho (DAP).	48
3.2.5.2. Calculo área basal	48
3.2.5.3. Cálculo del volumen del árbol	49
3.2.5.4. Cálculo de altura total del árbol.	49
3.2.5.5. Ecuaciones alométricas	49
3.2.5.6. Cálculo para estimación de biomasa aérea	49
3.2.5.6.1. Ecuación alométrica de <i>Tectona grandis</i>	49
3.2.5.6.2. Ecuación alométrica <i>Guazuma ulmifolia</i>	49
3.2.5.7. Cálculo de estimación de carbono	50
3.2.5.8. Cálculo para la estimación CO ₂ almacenado	50
3.2.5.9. T student	50
3.2.5.10. Media	51
3.2.5.11. Mediana	51
3.2.5.12. Varianza	51
3.2.5.13. Desviación estándar	51
3.2.6 Población y muestra	52
3.2.6.1. Población	52
3.2.6.2. Muestra	52
3.2.7 Análisis estadístico	52
3.2.7.1. Estadística descriptiva	52
3.2.8 Propuesta de un plan de reforestación mediante el uso de especies nativas para la compensación de huella de carbono.	52
4 RESULTADOS	54

4.1 Detalle de las áreas donde se encuentran las especies <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> en una empresa de servicios ambientales mediante el uso de SIG.....	54
4.1.1 Línea base ambiental.....	55
4.1.1.1. Medio físico.....	55
4.1.1.1.1. Geomorfología.....	55
4.1.1.1.2. Suelo.....	56
4.1.1.1.3. Hidrología.....	56
4.1.1.1.4. Climatología.....	57
4.1.1.1.5. Temperatura.....	57
4.1.1.1.6. Evaporación y humedad relativa.....	57
4.1.1.1.7. Precipitación.....	57
4.1.1.2. Medio biótico.....	58
4.1.1.2.1. Flora.....	58
4.1.1.2.2. Fauna.....	58
4.1.1.2.3. Medio socioeconómico.....	59
4.1.1.2.4. Demografía.....	59
4.2 Comparación de la capacidad de captura de carbono de cada especie presente en el área de estudio mediante técnicas estadísticas.....	59
4.3 Obtención de área basal y volumen <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i>	60
4.4 Estimación de biomasa <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i>	61
4.5 Captura de carbono y CO ₂ <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i>	62
4.5.1 Estimación de captura de carbono y CO ₂ <i>Tectona grandis</i>	62
4.5.2 Estimación captura de carbono y CO ₂ <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> por hectárea.....	63
4.5.3 Prueba T student.....	64

4.6 Propuesta del plan de reforestación mediante el uso de especies nativas para la compensación de huella de carbono.....	65
4.6.1 Antecedentes.....	65
4.6.2 Objetivo general.....	65
4.6.3 Objetivos específicos.....	65
4.6.4 Alcance.....	66
4.6.5 Beneficiarios.....	66
4.6.6 Propuesta.....	66
4.6.7 Especies elegibles.....	67
4.6.8 Plan de reforestación.....	69
4.6.9 Cronograma.....	72
4.6.10 Presupuesto.....	73
5 DISCUSIÓN.....	75
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
6.1 Conclusiones.....	78
6.2 Recomendaciones.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapeo de presencia de especies <i>Guazuma ulmifolia</i> y <i>Tectona grandis</i> en área de estudio.....	54
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Análisis morfométricos <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i>	59
Tabla 2	Resultados estadísticos área basal y volumen	60
Tabla 3	Resultados estadísticos biomasa <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i>	62
Tabla 4	Resultados estadístico 30 individuos carbono y CO ₂	63
Tabla 5	Resultados estadísticos (t/ha) de carbono y CO ₂	63
Tabla 6	Análisis estadístico T de Student	64
Tabla 7	Taxonomía de especies de bosque seco.....	67
Tabla 8	Plan de acción de la propuesta de reforestación	69
Tabla 9	Cronograma semanal del plan de reforestación	72
Tabla 10	Estimación de presupuesto del plan de reforestación.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Delimitación con la zona de estudio.	91
Anexo N° 4: Toma de coordenadas de especie <i>Tectona grandis</i>	92
Anexo N° 2: Toma de coordenadas de especie <i>Guazuma ulmifolia</i>	92
Anexo N° 3: Identificación de especie <i>Tectona grandis</i>	92
Anexo N° 5: Coordenadas UTM de <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i>	93
Anexo N° 6: Parámetros dasométricos <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i>	94
Anexo N° 7: Valores de área basal y volumen de las especies estudiadas. ..	95
Anexo N° 8: Valores de biomasa <i>Tectona grandis</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i>	96

1. INTRODUCCIÓN

Antecedentes del problema

La revolución industrial, iniciada a mediados del siglo XVIII, marcó un crecimiento exponencial en las empresas y la adopción de nuevas tecnologías, generando un impacto negativo en el medio ambiente. La emisión de gases de efecto invernadero (GEI), en especial el dióxido de carbono (CO₂), se ha convertido en un factor crítico. Estudios nos indican que el 78% de estas emisiones provienen de actividades industriales, transporte, construcción, minería y gestión de residuos, contribuyendo al cambio climático (Bravo, Osorio y Loor, 2021).

El aumento de la temperatura global, atribuido al avance de la revolución industrial, desencadenó diversas consecuencias del cambio climático. Este fenómeno ha resultado en deshielos acelerados, contribuyendo al aumento del volumen del nivel del mar, así como en períodos prolongados de sequías desencadenando en escasez de alimentos, desertificación y erosión de los suelos debido a la falta de agua. Además, el incremento de gases contaminantes provenientes de actividades humanas que conducen a fenómenos como las lluvias ácidas, degradación de la capa de ozono y cambios en las precipitaciones, afectando las condiciones climáticas a nivel global. Este conjunto de impactos está causando la desaparición de ecosistemas y biodiversidad (Paricahua Choque, 2021).

Romero, Diego y Álvarez (2006) han demostrado las consecuencias perjudiciales de la exposición a estos contaminantes ambientales, relacionándolos con el incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias. Siendo afectados en su mayoría niños y adolescentes, quienes presentan enfermedades como asma, deterioro pulmonar, entre otros. Esto se debe a la quema indiscriminada de combustibles fósiles, la acumulación de desechos y la práctica indiscriminada de tala y quema de bosques.

Vega, Malla y Bejarano (2020) señalan que Ecuador, por su ubicación en la línea ecuatorial y sus características climáticas, se encuentra vulnerable a los impactos del cambio climático. Según los estudios se estima un aumento de 2°C en las temperaturas a nivel nacional. Este incremento está vinculado a las actividades de agricultura, ganadería, sectores industriales y residuos que liberan a la atmósfera CO₂.

Entre 1990 y 2018, Ecuador experimentó una alarmante pérdida de bosques nativos, debido principalmente a la demanda del sector agrícola por productos como cacao, palma africana y banano, así como la expansión de áreas para la ganadería, la acuicultura, entre otras actividades (Sierra, Calva y Guevara, 2021). Este deterioro ambiental ha llevado a emisiones significativas de monóxido de carbono, especialmente en la zona costera.

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2021) destaca la pérdida de bosques entre los años 2000 y 2010, especialmente en la costa y amazonia, lo que constituye un problema por la liberación de CO₂ a la atmósfera. En respuesta a esta problemática, se implementó un plan de reforestación, que determinó un incremento en las áreas reforestadas. Logrando mitigar la pérdida de ecosistemas, protección de los recursos y en la captura de carbono atmosférico.

En la provincia del Guayas, entre 2008 y 2014, se estimó una pérdida anual de aproximadamente 8 740 hectáreas de bosques, causada por el crecimiento poblacional y la actividad agrícola, contribuyendo al 20% de emisiones de GEI (MAATE, 2019). El análisis de la huella de carbono en Guayaquil determinó que el 38% de las emisiones se originan en el sector del transporte, seguido por el relleno sanitario “Las Iguanas” con un 26%, al procesar la disposición de 1 465 412 toneladas de residuos sólidos. El sector residencial con un 16% atribuible al uso de Gas Licuado del Petróleo (GLP), mientras que el sector industrial genera el 14% y 6% del sector comercial e institucional ambos generados por el consumo de energía eléctrica (Servicios Ambientales S.A, 2017).

En este contexto, la presente investigación se propone abordar la falta de información específica sobre la cantidad de carbono capturado en áreas reforestadas, identificando y relacionando los diferentes aspectos involucrados en este proceso. La eficacia de la reforestación como estrategia de mitigación de emisiones de carbono en Petrillo se convierte en un área clave a explorar para desarrollar estrategias más efectivas y sostenibles en la empresa.

Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, con la aparición de enfermedades relacionadas con la contaminación, la escasez de recursos naturales y la pérdida de biodiversidad

son algunos de las consecuencias de la crisis ambiental. Ante este problema, diversas empresas están adoptando medidas ambientales que no solo sean económicamente viables, sino sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

En el artículo publicado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2023) revela el aumento en la generación de desechos sólidos urbanos, principalmente por una inadecuada gestión. Gran parte de estos residuos llegan al agua, aire y suelo contaminando los ecosistemas. Además, se identificó que esta práctica contribuye a GEI, a través del desperdicio de alimentos y su ciclo de producción y transporte.

La gestión de residuos representa un desafío ambiental, debido a la complejidad del proceso y la emisión de GEI en todas las etapas, desde la generación hasta su gestión final, llegando a ser un problema ambiental (Muñoz, Santos y Cárdenas 2019). En Ecuador, la magnitud de este problema se refleja en la generación aproximada de 12 900 toneladas de residuos sólidos diarios, en su mayoría de origen orgánico, los cuales terminan en rellenos sanitarios, vertederos y celdas emergentes, entre otros (Solíz, 2020).

La empresa gestora de residuos peligrosos y no peligrosos se enfrenta a desafíos ambientales significativos. El aumento constante de emisiones de GEI durante el proceso de eliminación de residuos se ha convertido en una problemática. En cambio, la empresa, que adopta una visión ambientalista, busca abordar la emisión de carbono de manera más sostenible.

El manejo de residuos, especialmente aquellos que implican procesos de descomposición orgánica, conlleva la liberación de gases de efecto invernadero, en su mayoría siendo dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), contribuyendo así al calentamiento global y al cambio climático. Consciente de esta realidad y comprometida con la sostenibilidad ambiental, la empresa ha explorado diversas estrategias para mitigar su huella de carbono, entre las que se destaca la reforestación de áreas adyacentes a sus instalaciones como una medida efectiva.

Los bosques desempeñan un papel crucial en la captación de carbono, almacenándolo en diversas partes de sus estructuras a medida que crecen (Pazmiño y Pinargote, 2018). Esta estrategia depende en su mayoría de la capacidad de las áreas reforestadas para capturar y almacenar carbono atmosférico. Aunque se han realizado esfuerzos para llevar a cabo proyectos de

reforestación, la falta de datos específicos sobre la cantidad de carbono capturado en estas áreas y la contribución relativa de diferentes especies arbóreas a esta captura plantea incógnitas significativas.

1.1.2 Formulación del problema

¿Qué especie arbórea presenta una mayor capacidad de absorción de dióxido de carbono (CO₂) en una empresa de servicios ambientales?

Justificación de la investigación

El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ha generado un creciente interés en estrategias como la captura de carbono, la cual desempeña un papel crucial en la reducción de las emisiones atmosféricas al absorber dióxido de carbono durante la fotosíntesis y transformarlo en energía para los ecosistemas (Cabudivo, 2017). Este proceso adquiere relevancia en las actividades agrícolas y la deforestación, donde las actividades antropogénicas contribuyen a la liberación de GEI, aumentando los efectos del cambio climático.

Por su parte, los bosques secos tropicales se han convertido en ecosistemas frágiles y amenazados, debido al aumento de contaminación y explotación de recursos que se desarrollan en sus terrenos (Acosta, 2020). La explotación de productos forestales, tanto maderables como no maderables, contribuye a la vulnerabilidad de estos ecosistemas.

Dentro de estos recursos madereros en el Ecuador se encuentra la teca (*Tectona grandis*), una especie tropical de madera; en el país esta especie arbórea que es comercializada en países extranjeros tiene un gran índice de plantación para la explotación comercial de esta especie, que se encuentra más en las provincias de Guayas y Manabí (Bonilla N. , 2017).

En el artículo publicado por Fundación Aquae (2022) se resalta el impacto positivo de los bosques naturales con diversidad de especies arbóreas, que llegan a capturar un 20% de carbono de emisiones anuales de GEI. Lo cual demuestra que los bosques poseen una notable capacidad para almacenar carbono a lo largo del tiempo.

En el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, se plantea una visión ambiciosa que integra dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo sostenible a nivel global. La agenda representa un compromiso universal para transformar nuestro estilo de desarrollo, priorizando la igualdad, la dignidad y el respeto al medio ambiente. Actualmente, distintas

empresas están adquiriendo un papel fundamental en la reducción de la huella ambiental, adoptando medidas concretas para mitigar los efectos del cambio climático (Naciones Unidas, 2018).

En relación con esto las empresas están optando por medidas enfocadas a la sostenibilidad. Como es el caso de la empresa gestora de servicios ambientales los cuales se encargan de proporcionar una adecuada gestión del agua, de los residuos y la optimización energética mediante el uso de fuentes renovables. Con el fin de convertirse en líderes de la transformación ecológica y afrontar el reto climático, creando estrategias como GreenPath, ofreciendo soluciones innovadoras para acelerar la descarbonización y reducir la huella ambiental de sus operaciones y la de sus clientes, garantizando el cumplimiento de la normativa vigente y los objetivos globales de mitigación del cambio climático.

En este contexto, el presente estudio se centra en la estimación de la captura de carbono mediante ecuaciones alométricas, comparando la especie arbórea Teca (*Tectona grandis*) con la especie Guasmo (*Guazuma ulmifolia*) en una empresa de servicios ambientales. Se espera que los resultados de esta investigación demuestren la importancia de conservar especies arbóreas y su contribución al almacenamiento de carbono. Asimismo, se busca fomentar la necesidad de realizar investigaciones acerca de especies arbóreas aptas para reforestar en áreas afectadas, mitigar el carbono producido y fortalecer las prácticas de manejo forestal sostenible.

Delimitación de la investigación

La delimitación de la investigación indica con precisión el espacio, el tiempo o período y la población involucrada.

- **Espacio:** Área reforestada y no reforestada de la empresa de servicios ambientales, ubicada en Petrillo con las coordenadas: (608502 S), (9780549 O) (**ANEXO N° 1**).
- **Tiempo:** 5 meses
- **Población:** Según el equipo de talento humano de la empresa, actualmente cuentan con un total de 51 colaboradores que forman parte de la empresa de servicios ambientales.

El cantón Nobol cuenta con una población de 23 850 habitantes (INEC, 2022).

Objetivo general

Estimar la captura de carbono mediante ecuaciones alométricas para la valoración de las especies arbóreas teca (*Tectona grandis*) y guasmo (*Guazuma ulmifolia*) en áreas reforestadas de una empresa de servicios ambientales.

Objetivos específicos

- Detallar las áreas donde se encuentran las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* en una empresa de servicios ambientales mediante el uso de SIG.
- Comparar la capacidad de captura de carbono de cada especie presente en el área de estudio mediante técnicas estadísticas
- Proponer un plan de reforestación mediante el uso de especies nativas para la compensación de huella de carbono.

Hipótesis

La especie Guasmo (*Guazuma ulmifolia*) mostrará una mayor capacidad de absorción de carbono en comparación de la especie Teca (*Tectona grandis*).

2 MARCO TEÓRICO

Estado del arte

El estudio realizado por Salgado (2018) tuvo como objetivo evaluar cuantitativamente la capacidad de concentración de carbono en la biomasa aérea de árboles de sombra asociados con el *Coffea arabica* L. por medio de la identificación de especies de sombra, densidad, frecuencia e índice de valor, medición de altura y diámetro al pecho de los árboles y estimación de carbono y nitrógeno en maderas y hojas. El estudio reveló que los árboles de sombra asociados con el *Coffea arabica* L. presentan una alta capacidad de captura de carbono, especialmente en áreas dominadas por *Terminalia amazonia*. Además, se encontró que el contenido de carbono fue mayor en la madera que en las hojas para todas las especies estudiadas, mientras que el contenido de nitrógeno en las hojas varió según la temporada de lluvias.

Luna, Sánchez, Maza y Castillo (2021) realizaron el estudio de *Biomasa forestal y captura de carbono en el bosque seco de la Reserva Ecológica Arenillas*, localizada entre los cantones Huaquillas y Arenillas, con una superficie de 13 170 ha de bosque seco, matorral desértico y manglares; se utilizaron métodos de muestreo de transectos, cuadrantes, mediciones directas e indirectas para estimar la biomasa forestal y captura de carbono. Para el estudio se seleccionaron diez sitios a lo largo de la reserva, utilizando cuadrantes de 1 000 m² para la recopilación de datos de distribución y composición de especies forestales. Los análisis estadísticos se realizaron con el software IBM SPSS Statistics 25.

Los resultados mostraron que la especie *Ceiba trichistandra* fue la que contribuyó con la mayor biomasa forestal aérea, debido a su dominancia en el ecosistema. Mientras que, en la captura de carbono, se determinó que el total captado por las veintiuna especies forestales fue de 376,42 t/ha, siendo *Ceiba trichistandra* la especie que más carbono capturó, con un valor de 219,39 t/ha.

El artículo elaborado por Calderón (2023) propone comprender la evolución de la cobertura boscosa en Atlántica, Honduras para determinar la capacidad de captura de carbono de los árboles en la región. Para evaluar el almacenamiento de carbono, se utilizaron mediciones como altura y diámetro. Además, se emplearon imágenes satelitales y la plataforma Google Earth Engine para mapear la cobertura boscosa y pérdida de bosque. De los resultados se

observó que los árboles con mayor área basal son más eficientes en la captura de carbono.

El estudio realizado por Ordoñez R. y Ordoñez S. (2022) se llevó a cabo en la Municipalidad Distrital de Yantaló, en Perú, con el objetivo de evaluar las reservas de carbono en huertas urbanas. Para esto, se seleccionaron aleatoriamente los lotes urbanos y se recopilaron datos de seis fuentes, que incluyeron árboles, arbustos, hierbas, raíces, hojarascas-mantillo y suelo. Se realizaron mediciones de diámetro a la altura del pecho de árboles y arbustos, así como muestreos de hierbas y raíces para determinar el carbono almacenado utilizando fórmulas específicas para cada tipo de biomasa.

Los resultados revelaron que las huertas urbanas de Yantaló poseen una cantidad considerable de biomasa y carbono. Se observó que los árboles constituyen la principal fuente de biomasa y carbono, seguidos por las raíces y las hojarascas. En promedio, se estima que una huerta urbana de 109 m² captura alrededor de 0.63 toneladas de carbono.

El estudio de Peralta (2022) se centró en el bosque montano Los Lanches-Chota con el objetivo de determinar el carbono almacenado en su biomasa aérea. Se ubicaron siete parcelas circulares de 0,1 ha en un rango de altitud de 2 726 a 2 851 m.s.n.m. Se registraron datos dasométricos de árboles con DAP ≥ 5 cm, se aplicó el método indirecto para estimar la biomasa aérea y el carbono almacenado.

Se identificaron 833 árboles de 33 especies y 27 familias, siendo las más comunes *Hedyosmum scabrum*, *Cornus peruviana* y *Weinmannia elliptica*. Se estimó una biomasa aérea de 168,43 t/ha y un almacenamiento de carbono de 84,21 t C/ha. Las familias *Cunoniaceae*, *Myrtaceae*, *Lauraceae* y *Melastomataceae* concentraron el 63% del carbono almacenado.

En el trabajo de Sarango y Tenempaguay (2020) se estimó la cantidad de carbono y CO₂ almacenado en un bosque de Pino en la hojarasca y en el suelo de la comuna Paquizhapa, cantón Saraguro de la provincia de Loja. La metodología se dividió en tres fases: de campo, laboratorio y análisis de resultados. La fase de campo estableció 30 parcelas circulares de 400 m², recolectando las variables dasométricas (diámetro-altura) de cada especie de pino; y para la recolección de hojarasca se empleó 3 subparcelas de 1 m² distribuidas en tres cuadrantes de la parcela total a profundidades de 0-10 cm,

10-20 cm, 20-30 cm. En base a los resultados obtenidos en cada parcela, se estimó que en la biomasa aérea existe una cantidad almacenada de 60,01 t C/ha, en la biomasa de la hojarasca se estimó que hay 3,20 t C/ha, finalmente se encontró un mayor almacenamiento en el suelo con un total de 328,73 t C/ha, en donde la profundidad de 30 cm es la de mayor acopio.

Jiménez y Peralta (2019) realizaron su estudio en el parque “El Paraíso” con 19,8 hectáreas y en el de la Madre con 3,6 hectáreas. La metodología utilizada se basó en el proyecto sistema de inventario forestal de parques urbanos en la ciudad de Cuenca, además de las ecuaciones alométricas. Los resultados precisos indicaron que, en el Parque “El Paraíso”, la especie *Salix humboldtiana* Willd mostró la mayor capacidad de retención de carbono en ambos años estudiados, seguida por *Acacia dealbata* Link. En el “Parque de la Madre”, *Fraxinus excelsior* L fue la especie con mayor capacidad de almacenamiento en 2017, pero experimentó una disminución en 2019. Se observó un aumento en la capacidad de retención de carbono en algunas especies, aunque el número de individuos varió entre los años estudiados.

Por otra parte, Chávez (2018) se enfocó en analizar la captura y almacenamiento de carbono en bosques secos, específicamente: Bosque Seco de Montaña, Bosque Seco de Colina y Bosque Seco de Llanura en el Distrito de Motupe-Lambayeque. Estableció nueve parcelas circulares dentro de un área de 159,3 ha, con una intensidad de muestreo que osciló entre el 0.53% y el 0.89%. Como metodología utilizó una clasificación diametral de cinco intervalos con un ancho de cinco centímetros para obtener valores de biomasa modular, densidad básica de la madera y la equivalencia de biomasa de carbono seco del 0.5%. Estos valores se aplicaron a diferentes compartimentos forestales (fuste, ramas principales, ramas menores y hojarasca), así como al contenido de carbono en el suelo (hojarasca) de 0,52 Mg-C/ha en un período de medición de cinco meses bajo condiciones normales de lluvia. Se estimó un potencial de almacenamiento de carbono a nivel de biomasa aérea (ramas y tronco) de 4,23 Mg-C/ha y de 42,19 Mg-C/ha en el suelo. En total, se calculó un almacenamiento de 46,937 Mg-C/ha, logrando demostrar una contribución como medida de mitigación frente al cambio climático.

Desde el punto de vista de los autores Castillo, Loor y Ayón (2022), en su estudio realizado en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, en un área de

aproximadamente 214,283 m² realizaron un inventario forestal, enfocándose en especies leñosas con un diámetro igual o superior a 5 cm; además, se estimó la captura de carbono de su arboleado mediante la determinación de biomasa y carbono almacenado. Se identificaron 68 especies y 1 200 individuos, el análisis reveló que el 44% de las especies son nativas, mientras que el 56% son especies introducidas, Las mediciones dendrométrías indicaron que *Azadirachta* tiene mayor biomasa forestal y carbono almacenado (37%). El total de CO₂ capturado por todas las especies arbóreas se estimó 19 650,76 t.

Maldonado (2023) en su investigación se enfocó en la captura de carbono de la especie palo prieto (*Erythrina fusca*) en la Isla Santay. Delimitó una parcela de 5 000 m² de bosque seco, al cual lo dividió por altura en dos clases (0-3 m y 3-20m), seleccionó 30 individuos de cada clase. Para la metodología se utilizó las ecuaciones alométricas, tomando medidas del diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total de los árboles y volumen. Los análisis estadísticos revelaron que la captura de carbono varía según la clase de altura, almacenando mayor carbono los árboles de (3-20m). Se estimó que la especie captura aproximadamente 0,742 t de CO₂ en media hectárea, lo que representa un total de 3 317,29 t dentro de la superficie total del Área Nacional de Recreación Isla Santay.

Ramírez y Chagna (2019) llevaron una investigación en una plantación de *Eucalyptus grandis* en la granja “La Favorita”, de la Universidad Técnica del Norte. La plantación cuenta con 1 610 individuos, con un promedio de 201 árboles por hectárea. La biomasa aérea total fue de 5 012,31 t, con una concentración del 81.20 % en los fustes. La ecuación alométrica para predecir el carbono secuestrado mostró un buen ajuste (R^2 de 0,98), utilizando las variables diámetro y altura total (Di^2ht). El carbono secuestrado por árbol fue en promedio 0,75 t, equivalentes a 312,10 t/ha y 2 506,16 t en toda la plantación. Este resultado es consistente con investigaciones anteriores.

Posteriormente, Coveña (2023) llevó a cabo un estudio en la Universidad Dr. Jacobo Bucaram Ortiz en Milagro, con el objetivo de comparar la captura de carbono de dos especies arbóreas: Teca y Mango. Se empleó un enfoque de campo documental y exploratorio, identificando y caracterizando ambas especies. Se registraron 1 100 árboles de teca y 200 de mango, observando

mayor biomasa en la teca. La captura de carbono estimada fue 0,17 t para teca y 0,08 t para el mango.

El estudio realizado por Montes, Salvador, Nájera, Corral y Méndez (2020) se centra en la estimación del contenido de carbono en la biomasa de *Trichospermum mexicanum* en Veracruz, México. Se analizaron muestras de fuste y ramas, que fueron secadas a 100°C durante 48 horas y se pesaron para calcular el peso total de biomasa. Para la conversión de biomasa a carbono, el estudio utilizó una fracción de 40.27% con el fin de evitar sobreestimaciones. Los resultados mostraron que la estimación de biomasa en los fustes fue del 81.20% y el carbono secuestrado por árbol se estimó en promedio en 0,75 t, equivalentes a 312,10 t por ha y 2 506,16 t en toda la plantación. Así, demostraron la eficacia del método empleado para estimar el contenido de carbono en la biomasa.

Mediante ecuaciones alométricas se logra estimar eficientemente la biomasa y el carbono acumulado dentro de los manglares; son el resultado de un análisis de regresión, evaluando las relaciones entre la masa de los árboles acompañado de sus datos dimensionales. Pueden estar construidas para estimar la biomasa total de un árbol completo, y se hace uso de variables como diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total; otras ecuaciones emplean variables independientes como la altura comercial, densidad de la madera, volumen, entre otras (Segovia, 2019).

En el artículo *Diversidad, estructura y carbono de la vegetación en un gradiente altitudinal en la Sierra Madre Oriental, México*, elaborado por Salvador, Cámara, Martínez, Sánchez y Valdés (2019) se llevó a cabo precisamente en la Sierra Madre Oriental, México. Se establecieron parcelas de muestreo en intervalos de 200 m de elevación, y se calcularon índices de diversidad, densidad de árboles, área basal y biomasa aérea. Como resultado, el contenido de carbono en la biomasa aérea varió de 1,5 a 120,5 Mg C ha⁻¹, con los valores más altos en los bosques de pino-encino a elevaciones medias, y los más bajos en los pastizales alpinos a mayor altitud.

Según Tobías, Salvador, Sánchez, Ruiz, Arrieta y Andrade (2019), en su estudio realizado en el área periurbana de Ocuilzapotlán-Macultepec, se identificaron cuatro grupos de vegetación y en cada grupo se establecieron parcelas de 1 000 m² (20 x 50 m) para registrar especies, medir el diámetro y altura de los árboles. Se encontraron 402 individuos agrupados en 21 familias y

38 especies, con *Fabáceas*, *Bignoniáceas* y *Malváceas* como las familias más representadas.

El inventario de especies permitió estimar la captura de carbono en la biomasa, la cual se realizó mediante ecuaciones que relacionan el diámetro y la altura con la cantidad de carbono almacenado en su biomasa. Los resultados variaron entre 38,99 y 84,82 Mg C ha⁻¹ en las diferentes formaciones vegetales.

Por otra parte, Valdivia (2021) define que los bosques capturan y almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa. Es por eso que su investigación del Bosque Natural El Cañoncillo, en la región La Libertad, Perú, ha proporcionado nuevos datos y modelos para estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono en esta región. El método utilizado es el no destructivo por medio de aplicación de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de *Propopis pallida*. Este enfoque ha permitido la creación de modelos que integran variables como el diámetro a la altura del pecho, altura del árbol, punto óptimo de medición y precipitación local, basándose en investigaciones previas. Se obtuvo el resultado de 66,5436 t C.ha⁻¹ para el bosque, afirmando que los bosques ayudan en la captura de gases de efecto invernadero.

Santiago (2018) expone que, para medir la biomasa aérea correspondiente a los árboles vivos en pie, se empleó el método alométrico, utilizando la ecuación desarrollada por Komiyama, Pongpan, Shogo (2005), para las especies de mangle, la cual considera como variables independientes la densidad de la madera por especie y el diámetro del árbol. Y para cuantificar la captura (reserva) de carbono, utiliza la estimación de Biomasa Total (BT) de los árboles por especie de mangle. Una vez que se obtuvo la biomasa total en megagramos (1 Mg = 1 t), esta se multiplicó por un factor de conversión de 0.464 g C por 1 g de biomasa, para obtener el contenido de carbono.

Luego, Benavides, Torres, Flores, Acosta y Rueda (2021), para la estimación de biomasa y carbono aéreo en plantaciones forestales de *Cedrela odorata* L. se centraron en el desarrollo de modelos alométricos prácticos para evaluar la cantidad de biomasa y la capacidad de almacenamiento de carbono en árboles de diferentes diámetros. El área de estudio lo llevaron a cabo en tres plantaciones en Jalisco, México, con suelos de tipo Phaeoem háplico y Cambisol dístico. La metodología que utilizaron incluyó la recolección de muestras de follaje y tocón, con el uso de modelos alométricos que permitieron estimar la

biomasa dando 2,42 a 275,53 Kg; el análisis realizado en los árboles les permitió estimar un almacenamiento de 71.33% de carbono total.

Para finalizar, el estudio realizado de García, Jiménez, Yerena, Aguirre y Alanís (2019) se llevó a cabo en una plantación en Yucatán, con 217,60 ha de teca. Se realizaron muestreos destructivos en 12 árboles para determinar la biomasa y densidad de la madera. Se procesaron muestras de hojas, ramas y ramillas para determinar la biomasa total. Por medio de la norma Copant 460 se determinó la densidad de la madera y lograron calcular el factor de expansión de la biomasa. Dando como resultado el volumen fustal de 73,90 m³/ha, la biomasa total un 46%, factor de expansión de biomasa de 2,14, un carbono almacenado de 40,08 t/ha y el CO₂ almacenado de 147,1 t/ha.

Bases teóricas

2.1.1 Cambio climático

El cambio climático es un fenómeno global causado principalmente por las actividades antropogénicas, las que han provocado un aumento de aproximadamente 1.1°C en la temperatura a nivel mundial sobre los niveles preindustriales, según el informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2021). Este calentamiento está provocando fenómenos meteorológicos extremos, evidenciándose en aumento de sequías, inundaciones y olas de calor.

Hechos que traen consigo consecuencias devastadoras para el ambiente y la sociedad, como el derretimiento de glaciares, aumento de nivel del mar, la extinción de especies, la inseguridad alimentaria, dificultades para el acceso al agua y la salud pública.

2.1.2 Gases de efecto Invernadero

Los gases de efecto invernadero han existido a lo largo del tiempo, pero en las últimas décadas se ha visto un aumento significativo en su concentración alrededor del mundo desde la llegada de la época industrial. Los gases que presentan mayor porcentaje en la atmósfera son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), vapor de agua (H₂O), óxido nitroso (NO₂), gases fluorados y otros. El momento en el que son liberados forman una capa alrededor de la tierra que impide el escape del calor al espacio, provocando un aumento de temperatura a nivel global (Comisión Europea, 2021).

La concentración de CO₂ en la atmósfera se incrementó por encima de los valores registrados antes de la revolución industrial, pasando de 280 partes por millón (ppm) en 1750 a 415 ppm en 2020, siendo este gas el más conocido e importante en términos de su impacto en el cambio climático (Parlamento Europeo, 2023).

2.1.3 Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂ es un componente que encontramos en el sistema atmósfera-oceano-tierra, siendo producido tanto de forma antropogénica como natural. En el ciclo del carbono, este gas juega un rol principal en un gran número de procesos biológicos, como la descomposición de biomasa y la respiración.

Durante el proceso de fotosíntesis, las plantas eliminan el CO₂ de la atmósfera, desempeñando un papel importante en la captura de carbono. Sin embargo, las actividades humanas son el principal emisor de este compuesto, principalmente a través de la tala de los bosques, la ganadería y el consumo de combustibles fósiles (IDEAM, 2007).

2.1.4 Huella de carbono (HdC)

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2021) explica que la huella de carbono es un indicador que permite medir la cantidad total de emisiones de GEI generadas de forma directa o indirecta por un individuo, organización, evento o producto, y se expresa en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂eq). Las empresas y organizaciones la utilizan para calcular y reducir su HdC, mediante estrategias como eficiencia energética, uso de energías renovables y compensación de emisiones, siendo una alternativa para la disminución de GEI.

2.1.5 Especies arbóreas

Las especies arbóreas son plantas leñosas perennes que se caracterizan por su composición física (tronco, ramas y hojas). Desempeñan un papel importante en el ecosistema, al proveer hábitat y alimento para las especies, regular el clima, purificar el aire, el agua y prevenir la erosión del suelo.

Existe diversidad de árboles en el mundo con diferentes características morfológicas en cuanto tamaño, forma, corteza, hojas, flores y frutos; algunos que destacan por su importancia ecológica y económica son el mangle (*Rhizophora spp.*), el pino (*Pinus spp.*), el mango (*Mangifera indica*), el eucalipto (*Eucalyptus spp.*), entre otros. Estas especies tienen un papel crucial en la

mitigación del cambio climático, ya que absorben y almacenan dióxido de carbono de la atmósfera (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021).

2.1.6 Bosques secos en la costa

Los bosques secos, o también conocidos como selva seca, son ecosistemas caracterizados por su adaptabilidad a condiciones áridas. Estos bosques se encuentran principalmente en regiones tropicales y subtropicales.

La vegetación en estos bosques es generalmente caducifolia, esto se refiere a la pérdida de sus hojas durante la estación seca para conservar agua. Además de ser un refugio para la biodiversidad, ayudan en la conservación del suelo y la regulación del ciclo hídrico.

En el Ecuador encontramos el Bosque Seco Ecuatorial compuesto por cuatro ecorregiones: Bosque Húmedo del Occidente Ecuatoriano, Manglares de Esmeraldas y el Pacífico Colombiano, Manglares del Pacífico y Bosque Seco Ecuatorial, en los cuales entre su flora hay especies como el Samán, Ceibo, Teca, Guasmo, Mango, entre otras especies (FAO, 2012).

2.1.7 Clima

El clima de los bosques secos se caracteriza por altas temperaturas y precipitaciones anuales que varían entre 600 mm/año, concentradas en una breve temporada de lluvias. La temporada seca puede extenderse por más de seis meses, con escasas precipitaciones, lo que induce a la vegetación a desarrollar métodos para sobrevivir. Estos climas suelen tener una temperatura promedio anual entre 21°C y 37°C, con una evapotranspiración alta, contribuyendo a la aridez del ambiente (Ramírez, Ramos, Yépez, Belezaca y Rodríguez, 2023).

2.1.7.1. Suelo

Los suelos de los bosques secos son generalmente poco profundos, pedregosos y con bajo contenido de materia orgánica. Su composición es una mezcla de suelos arcillosos y arenosos, como resultado de la erosión y sedimentación de los materiales que han sido transportados por los ríos y las corrientes marinas a lo largo de la costa ecuatoriana, además de tener una estructura que permite el drenaje, pero retiene poca agua y nutrientes (Conservamos por Naturaleza, s.f.).

2.1.8 Árbol Teca

El árbol de teca, científicamente denominado como *Tectona grandis*, pertenece a la familia Verbenaceae. Originario del sudeste asiático, se ha cultivado extensamente alrededor del mundo en regiones tropicales, no solo por la alta calidad de su madera sino por su durabilidad, resistencia a plagas y el agua. La teca es un árbol caducifolio que puede alcanzar hasta 40 metros de altura, con hojas grandes y robustas (FAO, 1998).

Este árbol se caracteriza por su tronco recto y su corteza áspera y fisurada, que alcanza un espesor de 1,2 mm y es de color café claro; La corteza se desfolia en placas grandes y delgadas. Los árboles presentan una dominancia apical, que se pierde con la madurez o cuando florecen a temprana edad, lo que da lugar a una copa más amplia. Las hojas son simples, opuestas y de tamaño variable, con longitudes que oscilan entre 11 y 85 cm y anchuras que van de 6 a 50 cm (Fonseca, 2004).

2.1.8.1. Taxonomía Teca (*Tectona grandis*)

Carrera (2012) catalogó a la especie de la siguiente manera:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Lamiales
- Familia: Verbenaceae
- Género: Tectona
- Especie: grandis
- Nombre científico: *Tectona grandis*
- Nombre común: Teca

2.1.9 Árbol Guasmo

El guasmo, con nombre científico *Guazuma ulmifolia*, es un árbol perteneciente a la familia Malvaceae. Nativo de la América tropical (que va de México a Brasil), se encuentra en los bosques secos y húmedos presentes en dicha zona. Esta especie es conocida por su rápida tasa de crecimiento y su capacidad para prosperar en una variedad de condiciones ambientales, incluida áreas degradadas. Además de su valor ecológico, el guasmo tiene usos medicinales y forrajeros y, localmente, su madera suele utilizarse para construcciones y carpintería (Francis y Lowe, 2000).

2.1.9.1. Taxonomía Guasmo (*Guazuma ulmifolia*)

Garay y Castañeda (2024) catalogaron a la especie de la siguiente manera:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Malvales
- Familia: Malvaceae
- Género: *Guazuma*
- Especie: *ulmifolia*
- Nombre científico: *Guazuma ulmifolia*
- Nombre común: Guasmo

2.1.10 Comparación entre el teca y guasmo.

Tectona grandis y *Guazuma ulmifolia* son dos especies arbóreas con características morfológicas y ecológicas distintas. La teca se caracteriza por su tronco recto, corteza grisácea y hojas grandes y ovaladas, mientras que el guasmo presenta un tronco más irregular, corteza marrón oscura y hojas más pequeñas y alargadas.

Ecológicamente, la teca prefiere climas tropicales secos y suelos bien drenados, mientras que el guasmo es más adaptable y puede crecer en una variedad de condiciones ambientales.

2.1.11 Ciclo de carbono

El ciclo del carbono es un proceso donde el carbono se mueve entre la atmósfera, la biósfera, la geósfera y la hidrósfera. Este ciclo biogeoquímico ayuda en la regulación del clima de la Tierra, ya que controla la transferencia de carbono entre la atmósfera y los sumideros terrestres y oceánicos. Durante el ciclo, el CO₂ atmosférico se disuelve en el agua, formando ácido carbónico, y es utilizado por organismos marinos para la formación de sus esqueletos y conchas.

El carbono también se intercambia entre la atmósfera y la biósfera terrestre a través de la fotosíntesis y la respiración. Durante este proceso, las plantas absorben CO₂ y lo convierten en carbohidratos, liberando oxígeno (Sarango y Tenempaguay, 2020).

2.1.12 Síntesis de carbono (fotosíntesis)

Según Yañez (2004), la síntesis de carbono es un proceso que implica la conversión de CO_2 y agua en carbohidratos y oxígeno, catalizado por la clorofila y la luz solar. Durante este proceso bioquímico, la clorofila absorbe la energía luminosa, la cual se convierte en energía química, permitiendo la formación de carbohidratos que ayudan en la captura de carbono.

2.1.13 Fijación de carbono en especies arbóreas

Los autores Ganchozo y Solórzano (2022) nos explican que la fijación de carbono en especies arbóreas es un proceso clave en la captura y almacenamiento de carbono en los bosques, es un mecanismo natural que ayuda a regular la concentración de CO_2 , actuando como sumidero de carbono a largo plazo. Las especies arbóreas, a través de la fotosíntesis, absorben CO_2 y lo convierten en biomasa, contribuyendo al crecimiento de los árboles y la captura de carbono en la vegetación. Este proceso permite mantener el equilibrio del ciclo del carbono.

2.1.14 Proceso de captura de carbono

La Organización Internacional de las Maderas Tropicales (ITTO, 2012) menciona que el proceso de captura de carbono en los bosques implica la absorción de CO_2 por parte de la vegetación; la captura de carbono de este proceso es dinámico que se ve influenciado por factores como la densidad de la vegetación, la productividad primaria, y la disponibilidad de nutrientes y agua. La eficacia de este proceso varía entre especies, siendo crucial entender cómo diferentes tipos de árboles contribuyen al almacenamiento de carbono en los ecosistemas forestales.

2.1.15 Ecuaciones alométricas

Chave, Réjou-Méchain, Búrquez, Chidumayo, Colgan, Duque, Eid y Fearnside (2014) nos indican que son modelos matemáticos que describen la relación entre diferentes características morfológicas de los árboles, como el diámetro del tronco, la altura y la biomasa. Estas ecuaciones se utilizan para estimar la captura de carbono de diferentes especies vegetales, ya que permiten calcular la biomasa de manera destructiva y no destructiva.

2.1.16 Desarrollo de ecuaciones alométricas

Picard, Saint y Henry (2012) explican el proceso de recolección de datos de campo, donde se miden las características morfológicas de los árboles; para

la formulación de estas ecuaciones se utilizan métodos destructivos para obtener la biomasa real de los árboles, se cortan y pesan los diferentes componentes (tronco, ramas, hojas, raíces). Estos datos se utilizan para establecer relaciones matemáticas entre variables medidas, como el diámetro del tronco y la altura, con la biomasa total del árbol.

2.1.16.1. Tipos de ecuaciones alométricas

Los autores Zianis, Muukkonen, Mäkipää y Mencuccini, (2005) comentan que existen diferentes tipos de ecuaciones alométricas, que varían según la especie arbórea, la región geográfica y las condiciones ambientales. Algunas de las ecuaciones más comunes son:

- Ecuaciones basadas en el diámetro del tronco (D): Estas ecuaciones utilizan el diámetro del tronco como variable independiente para estimar la biomasa. Un ejemplo es la ecuación $B = a * D^b$, donde B es la biomasa, D es el diámetro del tronco, y a y b son constantes específicas de la especie.
- Ecuaciones basadas en el diámetro del tronco y la altura (D y H): Estas ecuaciones incorporan tanto el diámetro del tronco como la altura del árbol para mejorar la precisión de la estimación de la biomasa. Un ejemplo es la ecuación $B = a * D^b * H^c$, donde H es la altura del árbol, y a, b y c son constantes específicas de la especie.
- Ecuaciones específicas por componente: Estas ecuaciones estiman la biomasa de componentes específicos del árbol, como el tronco, las ramas, las hojas o las raíces. Esto permite un análisis más detallado de la distribución de la biomasa en los diferentes componentes del árbol.

2.1.16.2. Biomasa

Rodríguez (2020) expresa que la biomasa es la materia orgánica de origen biológico, incluidos residuos forestales, agrícolas y cultivos energéticos. Puede ser utilizada para la generación de calor, electricidad o biocombustibles a través de procesos de combustión, digestión anaeróbica, gasificación y pirolisis. Su aprovechamiento presenta ventajas como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la gestión de residuos orgánicos.

2.1.16.3. Factores de conversión de biomasa a carbono

Los factores de conversión de biomasa a carbono son valores que permiten estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de los árboles a partir de mediciones de biomasa. Estos factores se basan en la premisa de que aproximadamente el 50% de la biomasa seca de un árbol está compuesta por carbono (Echeverría, Pachacama, Villaverde, Proaño, 2018).

Algunos de los factores de conversión más utilizados son:

- Factor de conversión de 0.5: Indica que, por cada tonelada de biomasa seca, hay 0.5 toneladas de carbono. Este factor es ampliamente utilizado a nivel internacional.
- Factor específico por especie: Algunos estudios han determinado factores de conversión específicos para ciertas especies arbóreas, que pueden variar ligeramente del 0.5 general. Por ejemplo, un estudio en plantaciones de teca encontró un factor de 0.5311, es decir, 53.11% de la biomasa corresponde a carbono.

2.1.16.4. Métodos de compensación ambiental

2.1.16.4.1. Medidas de mitigación

Ludeña y Wilk (2013) definen a las medidas de mitigación como acciones dirigidas a minimizar los impactos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente. Estas medidas incluyen la adopción de buenas prácticas de manejo ambiental, como la reducción de residuos, captaciones y vertimientos. Estas acciones buscan mantener los atributos de los ecosistemas dentro de umbrales de resiliencia, permitiendo que los elementos de la biodiversidad se puedan recuperar de los impactos por las acciones de manejo que se proponen.

2.1.16.4.2. Medidas de corrección

Según Gobierno de Aragón y Navarra (2014) nos dice que las medidas correctoras no eliminan el impacto ambiental, pero si permite prevenir y disminuir su importancia a través de la implementación de procesos, tecnologías y otras acciones que minimizan los efectos negativos.

2.1.16.4.3. Medidas de compensación

Las medidas de compensación son acciones dirigidas a retribuir a las comunidades, regiones y al entorno natural por los impactos o efectos negativos

generados por las actividades antropogénicas. Estas medidas buscan evitar la pérdida total de la biodiversidad, asegurando la conservación de un área ecológica impactada. Esto puede incluir acciones permanentes de conservación, restauración o uso sostenible, acompañados de programas de monitoreo y evaluación (Bonilla, Monrós y Sasa, 2022).

Marco legal

Constitución de la República del Ecuador (2008)

Título I: Elementos constitutivos del Estado

Capítulo segundo: Derechos del Buen Vivir

Sección segunda: Ambiente Sano

Art. 14.- Se reconoce que la población tiene derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado y el buen vivir. Se declara de interés público la preservación del ambiente, de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (pág. 24).

Capítulo VII: Derechos de la Naturaleza

Art. 71.- La naturaleza tiene el derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructuras, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. El estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forma un ecosistema (pág. 52).

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural (pág. 135).

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

4. Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado.

Art. 408.- Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las

zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico. Estos bienes sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución.

El Estado participará en los beneficios del aprovechamiento de estos recursos, en un monto que no será inferior a los de la empresa que los explota.

El Estado garantizará que los mecanismos de producción, consumo y uso de los recursos naturales y la energía preserven y recuperen los ciclos naturales y permitan condiciones de vida con dignidad (pág. 181).

Título VII: Régimen del Buen Vivir

Capítulo segundo: Biodiversidad y Recursos Naturales

Sección tercera: Patrimonio natural y ecosistemas

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador, único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo con el ordenamiento territorial (pág.180).

Art. 405.- Es sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. El sistema se integrará por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, y su rectoría y regulación será ejercida por el Estado. El Estado asignará los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema, y fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión.

Las personas naturales o jurídicas extranjeras no podrán adquirir ningún título tierras o concesiones en las áreas de seguridad nacional ni en áreas protegidas, de acuerdo con la ley (pág. 180).

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros.

Sección séptima: Biosfera, ecología urbana y energías alternativas

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (pág.182).

Protocolo de Kioto (2004)

Los sumideros de carbono

Artículo 3.3.- Establece que las variaciones netas de las emisiones por las fuentes y la absorción por los sumideros de GEI debidos a la actividad humana directamente relacionada con el cambio del uso de la tierra y la silvicultura, limitada a la forestación, reforestación y deforestación desde 1990 (pág. 5).

Artículo 3.4.- Hace referencia a actividades adicionales a las anteriores que se puedan contabilizar. Durante el primer período de compromiso las actividades adicionales admitidas son: gestión agrícola, gestión forestal, gestión de pastos y restablecimiento de la vegetación (pág. 5).

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU 2016)

Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles

El objetivo del consumo y la producción sostenibles es hacer más y mejores cosas con menos recursos, incrementando las ganancias netas de bienestar de las actividades económicas mediante la reducción de la utilización de los recursos, la degradación y la contaminación durante todo el ciclo de vida, logrando al mismo tiempo una mejor calidad de vida. En ese proceso participan distintos interesados, entre ellos, empresas, consumidores, encargados de la formulación de políticas, investigadores, científicos, minoristas, medios de comunicación y organismos de cooperación para el desarrollo (pág. 55).

Meta 12.2. De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales (pág. 56).

Meta 12.8. De aquí a 2030, asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza (pág. 57).

Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

El cambio climático afecta a todos los países en todos los continentes. Tiene un impacto negativo en la economía nacional y en la vida de las personas, de las comunidades y de los países. En un futuro las consecuencias serán todavía peores.

Las personas viven en su propia piel las consecuencias del cambio climático, que incluyen cambios en los patrones climáticos, el aumento del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos más extremos. Las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por las actividades humanas hacen que esta amenaza aumente. De hecho, las emisiones nunca habían sido tan altas. Si no actuamos, la temperatura media de la superficie del mundo podría aumentar unos 3 grados centígrados este siglo y en algunas zonas del planeta podría ser todavía peor. Las personas más pobres y vulnerables serán los más perjudicados.

Tenemos a nuestro alcance soluciones viables para que los países puedan tener una actividad económica más sostenible y más respetuosa con el medio ambiente. El cambio de actitudes se acelera a medida que más personas están recurriendo a la energía renovable y a otras soluciones para reducir las emisiones (pág. 59).

Meta 13.1. Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países (pág. 60).

Meta 13.2. Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales (pág. 60).

Meta 13.3. Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana (pág. 61).

Objetivo 15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad

El 30% de la superficie terrestre está cubierta por bosques y estos, además de proporcionar seguridad alimentaria y refugio, son fundamentales para combatir el cambio climático, pues protegen la diversidad biológica y las viviendas de la población indígena. Cada año desaparecen 13 millones de hectáreas de bosque y la degradación persistente de las zonas áridas ha provocado la desertificación de 3.600 millones de hectáreas. La deforestación y la desertificación provocadas por las actividades humanas y el cambio climático—suponen grandes retos para el desarrollo sostenible y han afectado a las vidas y los medios de vida de millones de personas en la lucha contra la pobreza. Se están poniendo en marcha medidas destinadas a la gestión forestal y la lucha contra la desertificación (pág. 67).

Código Orgánico Del Ambiente (2017)

Libro Preliminar

Título II: De los derechos, deberes y principios ambientales

Art. 4.- Disposiciones comunes. Las disposiciones del presente Código promoverán el efectivo goce de los derechos de la naturaleza y de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrados, de conformidad con la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, los cuales son inalienables, irrenunciables, indivisibles, de igual jerarquía, interdependientes, progresivos y no se excluyen entre sí. Para asegurar el respeto, la tutela y el ejercicio de los derechos se desarrollarán las garantías normativas, institucionales y jurisdiccionales establecidas por la Constitución y la Ley. Las herramientas de ejecución de los principios, derechos y garantías ambientales son de carácter sistémico y transversal.

Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano

El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

1. La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades;
2. El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros;
3. La intangibilidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en los términos establecidos en la Constitución y la ley;
4. La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico;
5. La conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, la degradación, la desertificación y permita su restauración;
6. La prevención, control y reparación integral de los daños ambientales;
7. La obligación de toda obra, proyecto o actividad, en todas sus fases, de sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental;
8. El desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías alternativas no contaminantes, renovables, diversificadas y de bajo impacto ambiental;
9. El uso, experimentación y el desarrollo de la biotecnología y la comercialización de sus productos, bajo estrictas normas de bioseguridad, con sujeción a las prohibiciones establecidas en la Constitución y demás normativa vigente;
10. La participación en el marco de la ley de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en toda actividad o decisión que pueda producir o que produzca impactos o daños ambientales;
11. La adopción de políticas públicas, medidas administrativas, normativas y jurisdiccionales que garanticen el ejercicio de este derecho; y,
12. La implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas (pág. 12).

Art. 6.- Derechos de la naturaleza

Son derechos de la naturaleza los reconocidos en la Constitución, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración

de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como la restauración (pág. 12).

Art. 29.- Regulación de la biodiversidad. El presente título regula la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes. Asimismo, regula la identificación, el acceso y la valoración de los bienes y los servicios ambientales. La biodiversidad es un recurso estratégico del Estado, que deberá incluirse en la planificación territorial nacional y de los gobiernos autónomos descentralizados como un elemento esencial para garantizar un desarrollo equitativo, solidario y con responsabilidades intergeneracional en los territorios.

Capítulo VI

Restauración ecológica, plantaciones forestales y sistemas agroforestales

Art. 118.- Restauración ecológica. En las actividades de restauración ecológica de suelos o ecosistemas se priorizará la regeneración natural cuando esta sea posible técnica, económica y socialmente. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados, en el marco de sus competencias, darán atención prioritaria a los suelos degradados o en proceso de desertificación, bajo lineamientos de la Autoridad Ambiental Nacional (pág. 40).

Art. 119.- Prioridad nacional. Las plantaciones forestales con fines de conservación y producción son de prioridad nacional. Se impulsarán e implementarán programas o proyectos de reforestación con fines de conservación o restauración, especialmente en las zonas de manglar o servidumbres ecológicas afectadas y, en general, en todas aquellas áreas que se encuentren en proceso de degradación (pág. 40).

Capítulo VII

Monitoreo, control y seguimiento

Art. 125.- Potestad de monitoreo, control y seguimiento en el ámbito forestal. Todas las acciones de monitoreo, control y seguimiento son actos de tutela del Patrimonio Forestal Nacional. Estas acciones incluirán el seguimiento de la degradación y deforestación, así como el monitoreo del inventario nacional forestal (pág. 41).

Art. 127.- Disposiciones comunes para los profesionales forestales. Son aplicables a todos los profesionales forestales las siguientes:

1. El cumplimiento de las normas de Régimen Forestal Nacional forma parte de la responsabilidad profesional y técnica de los ingenieros forestales. Estas normas son límites forzosos a su independencia de criterio. Su violación constituye acto lesivo a la profesión, para lo cual se sancionará de acuerdo a las disposiciones establecidas en este Código y demás normas aplicables; y,
2. No están comprendidos en la obligación de guardar secreto profesional los actos que constituyan ilícitos administrativos o penales en agravio al Régimen Forestal Nacional (pág. 41).

Libro IV

Título I: Gestión del cambio climático

Art. 670.- Para efectos de la aplicación de este Reglamento, la gestión del cambio climático se basa en el conjunto de políticas, estrategias, planes, programas, proyectos, medidas y acciones orientadas a abordar el cambio climático, considerando los siguientes aspectos:

- a) Adaptación;
- b) Mitigación;
- c) Fortalecimiento de capacidades;
- d) Desarrollo, innovación, desagregación y transferencia de tecnología;
- e) Financiamiento climático; y
- f) Gestión del conocimiento tradicional, colectivo y saberes ancestrales (pág. 144).

Art. 671.- Sin perjuicio de aquellos contemplados en el artículo 9 del Código Orgánico del Ambiente y la normativa aplicable, la política nacional de cambio climático deberá considerar los siguientes principios:

- a) Autogestión: Las personas naturales o jurídicas públicas o privadas, desarrollarán acciones propias para contribuir a la gestión del cambio climático alineados al cumplimiento de la política nacional y compromisos ratificados por el Estado.
- b) Corresponsabilidad: Todas las personas naturales o jurídicas, públicas, privadas tienen la responsabilidad de participar en la gestión del cambio climático según lo establecido por la Constitución, Código Orgánico del Ambiente y el presente reglamento.
- c) Beneficio-efectividad: Se priorizará la implementación de acciones para la gestión del cambio climático que obtengan mayores co-beneficios sociales, ambientales, económicos y de cambio climático generado (pág. 144).

SECCION 3a.

Plan nacional de mitigación del cambio climático

Art. 688.- El Plan Nacional de Mitigación tiene por objeto reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y conservar y aumentar los sumideros de carbono, conforme a las capacidades y circunstancias nacionales, sin perjudicar la competitividad y desarrollo de los distintos sectores.

El Plan establecerá las medidas y acciones de mitigación del cambio climático, así como los mecanismos e instrumentos de implementación y coordinación para el cumplimiento de las mismas (pág. 147).

Art. 689.- El Plan Nacional de Mitigación del Cambio Climático será formulado por la Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las entidades competentes de los sectores priorizados y los diferentes niveles de gobierno;

contando con la participación de la academia, sociedad civil, sector privado, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades, colectivos y la ciudadanía en general; y será aprobado por el Comité Interinstitucional de Cambio Climático, bajo los mecanismos que se definan para el efecto (pág. 147).

Art. 690.- La Autoridad Ambiental Nacional realizará el seguimiento y evaluación del Plan Nacional de Mitigación y emitirá informes anuales respecto del avance en su implementación, los cuales contribuirán al reporte de cumplimiento de la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

El Plan Nacional de Mitigación se evaluará y actualizará cada cuatro años. Al final de cada periodo de vigencia, el Comité Interinstitucional de Cambio Climático realizará una evaluación final del Plan sobre el cumplimiento de las metas y resultados planteados, la cual se considerará para su actualización (pág. 145).

Acuerdo Ministerial 140 (2015)

Capítulo I

Certificación ecuatoriana ambiental punto verde

Art 5.- Incentivar a los sectores estratégico, productivo, servicios y de la construcción del Ecuador a implementar estrategias preventivas de eficiencia de recursos, buenas prácticas ambientales, producción más limpia y disminución de la contaminación como herramientas para el mejoramiento del desempeño ambiental y posicionamiento competitivo en el mercado nacional, regional e internacional (pág. 9).

Título I

Reconocimiento ecuatoriano ambiental punto verde por buenas practicas ambientales en dependencias administrativas del sector publico y privado

Art. 63.- Promover la aplicación de Buenas Prácticas Ambientales en entidades del sector público y privado para incentivar el consumo sostenible de recursos, y reducir la contaminación ambiental (pág. 24).

Art. 64.- Las Buenas Prácticas Ambientales son de aplicación obligatoria en instalaciones destinadas para actividades administrativas de las entidades establecidas en el Art. 225 de la Constitución de la República del Ecuador. Las instituciones privadas podrán acogerse de manera voluntaria a su aplicación para la obtención del Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental Punto Verde en dependencias administrativas (pág. 24).

Art. 65.- Se otorgará el Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental Punto Verde a aquellas entidades que implementen medidas preventivas para reducir sus niveles de contaminación y consumo de recursos, en base a los indicadores de Buenas Prácticas Ambientales y sustentabilidad descritos en el presente instrumento; la implementación de buenas prácticas ambientales y el cambio en la cultura del uso de recursos por parte de los servidores públicos o privados, medidas que serán verificadas in situ (pág. 24).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

La investigación es de tipo:

- Bibliográfica. En la investigación se recolectaron diferentes tipos de estudios que permitieron analizar la captura de carbono de las especies arbóreas. Es una investigación que implicó mediciones y análisis detallados para estimar la captura de carbono en las áreas donde se encuentran estas especies, se utilizó ecuaciones alométricas mediante revisión bibliográfica.
- Descriptiva. Mediante la investigación descriptiva, se detallaron las características morfológicas de las especies arbóreas, así como su contribución estimada a la captura de carbono.
- Campo. Durante la investigación se realizaron visitas al área de estudio para recolectar datos de la biomasa de las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*.
- Además, adopta un enfoque explicativo, ya que se realizó un registro de datos, permitiendo describir los resultados y la comparación de la captura de carbono en ambas especies.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación tiene un enfoque no experimental, pero sí un carácter documental. Se llevó a cabo una investigación de campo para examinar las características de las especies arbóreas presentes en las áreas reforestadas y gestionadas por la empresa de servicios ambientales. A partir de los datos recolectados, se obtuvo la información para llevar a cabo el estudio propuesto.

Metodología

3.1.3 Variables

3.1.3.1. Variable independiente

- Altura del árbol (m)
- Área basal (m^2)
- Diámetro altura al pecho (DAP) (m)
- Volumen del árbol (m^3)

3.1.3.2. Variable dependiente

- Captura de carbono *Tectona grandis* (t ha⁻¹)
- Captura de carbono *Guazuma ulmifolia* (t ha⁻¹)
- Estimación CO₂ *Tectona grandis* (t)
- Estimación CO₂ *Guazuma ulmifolia* (t)

3.1.4 Recolección de datos

3.1.4.1. Recursos

Los recursos que se utilizaron en el siguiente trabajo de investigación son los siguientes:

- Recursos bibliográficos

Tesis, artículos y revistas científicas, libros, páginas web e imágenes satelitales.

- Recursos tecnológicos

Laptop, impresora, Microsoft Word, Microsoft Excel, QGIS, celular.

- Equipos

Botas industriales, repelente contra insectos, GPS, casco, guantes.

- Materiales

Esfero, libreta de campo, marcadores, cinta de papel, cinta métrica, pintura en aerosol, machete.

3.1.5 Métodos y técnicas

El método que se utilizó en este estudio se basó en "Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS" (2003). específicamente en el Capítulo 4: "Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto".

3.1.6 Detallar las áreas donde se encuentran las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* en una empresa de servicios ambientales mediante el uso de SIG.

Se identificaron las áreas donde se encuentran las especies Teca (*Tectona grandis*) y Guasmo (*Guazuma ulmifolia*), para lo cual se empleó un sistema de información geográfica (SIG). Para ello, se llevaron a cabo visitas de campo en las que se zonificó el área de bosque adyacente a la planta de servicios ambientales. Mediante el uso de GPS, y con el equipo de protección personal se adentró al bosque en donde se registraron las coordenadas de las

especies estudiadas, con el propósito de determinar las zonas con mayor presencia de ambas especies. Este enfoque permitió delimitar con precisión el área de estudio.

3.1.7 Comparar la capacidad de captura de carbono de cada especie presente en el área de estudio mediante estadística descriptiva.

Para la toma de muestras se midió la altura del árbol y el diámetro a altura al pecho (DAP), estos datos se utilizaron en las ecuaciones alométricas para árboles tropicales. Este método se empleó como herramienta primordial para estimar la captura de carbono de las especies existentes en la empresa de servicios ambientales. Estas ecuaciones proporcionaron datos cruciales para cuantificar la captura de carbono y así conocer su contribución al balance de carbono en el ecosistema.

3.1.7.1. Medición de diámetro altura al pecho (DAP)

El DAP es una variable que permite calcular el área de la sección transversal del árbol, conocida como área basal, la cual sirve para estimar el volumen del árbol y otras características cuantitativas, se utiliza la cinta métrica a una altura de 1,30 metros Álvarez, Córdoba, Escobar, Fagua, Gast, Mendoza, Ospina, Umaña, Villarreal (2004).

Para la obtención del DAP, se debe transformar el CAP (Circunferencia a la altura del pecho) utilizando la siguiente fórmula:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Donde:

DAP = Diámetro a la altura del pecho (1,30m)

CAP = Perímetro o circunferencia (m).

(π) = 3,14

3.1.7.2. Calculo área basal

El área basal se refiere al área de la sección transversal del fuste del árbol, medida a una altura estándar de 1,30 metros desde el suelo. Esta medida se calcula desde el (DAP) (Ugalde, 1981).

El área basal se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{\pi}{4} DAP^2$$

Donde:

AB = Área basal (m^2)

$\pi/4$ = Constante (0,7854)

DAP = Diámetro altura de pecho (m)

3.1.7.3. Cálculo del volumen del árbol

El volumen del árbol se calcula generalmente de manera indirecta, a partir de variables más fáciles de medir, como el (DAP) y la altura del árbol (Lozano, 2019).

Para obtener esta variable se utilizará la siguiente fórmula:

$$V = AB * H * ff$$

Donde:

V = Volumen (m^3)

AB = Área basal (m^2)

H = Altura total del árbol (m)

ff = Factor de forma de fuste (0,50)

3.1.7.4. Cálculo de altura total del árbol

Para la medición de la altura de los árboles en el área de estudio, se utilizó la aplicación Globe Observer Trees la cual utiliza tecnología de fotogrametría y algoritmos de inteligencia artificial para estimar la altura de los árboles a partir de imágenes capturadas con el teléfono celular (NASA, 2024).

3.1.7.5. Ecuaciones alométricas

Para poder obtener los datos de la biomasa aérea se utilizaron ecuaciones alométricas; para la teca se usó de referencia la investigación de Ruiz, Hernández, Salcedo, Rodríguez, Gallegos, Valdés, Sánchez (2019), en cambio en el guasmo se utilizó la ecuación de la investigación de Jiménez, Fonseca, Pazmiño (2019)

3.1.7.6. Cálculo para estimación de biomasa aérea

3.1.7.6.1. Ecuación alométrica de *Tectona grandis*

Para la obtención de la biomasa de la teca se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$B \text{ total} = \exp(1.28236 * \ln(DAP))$$

3.1.7.6.2. Ecuación alométrica *Guazuma ulmifolia*

Para la obtención de la biomasa del guasmo se utilizó la siguiente ecuación:

$$B_{\text{total}} = (-0,180763 + 58,812 * DAP)^2$$

3.1.7.7. Cálculo de estimación de carbono

Según IPPC (2003) la estimación de carbono se refiere al proceso de cuantificar la cantidad de carbono almacenada en la biomasa (materia orgánica) de los ecosistemas, como los bosques, pastizales y suelos. Este carbono proviene principalmente del dióxido de carbono (CO₂) que las plantas absorben de la atmósfera durante la fotosíntesis y lo convierten en materia orgánica.

Para estimar el carbono se utilizará la siguiente ecuación:

$$C = B * Fc$$

Donde:

C = Carbono (t/ha)

B = Biomasa (t/ha)

Fc = Fracción de carbono (0,50)

3.1.7.8. Cálculo para la estimación CO₂ almacenado

Según el IPPC, (2003) para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, para el cálculo para la estimación del CO₂ almacenado se basa en la siguiente ecuación general:

$$CO_2 = C * 3,67$$

Donde:

CO_2 = Cantidad de CO₂ capturado (t/CO₂)

C = Carbono (t/ha)

3,67 = Fracción para convertir carbono (t/CO₂)

Los resultados obtenidos se utilizaron para comparar las diferentes especies mediante el uso del programa Excel. Se graficaron los datos mediante tablas, mostrando los resultados de cada individuo analizado.

3.1.7.9. T student

La prueba de T Student es una herramienta estadística utilizada en la investigación científica para comparar las medias de dos grupos de datos, ya sean independientes o relacionados, con el objetivo de determinar si existe una diferencia significativa entre ellas. Para aplicar esta prueba, se deben cumplir tres supuestos fundamentales: normalidad de las variables dependientes, homocedasticidad de las varianzas e independencia de las observaciones dentro de cada grupo (Rubio y Berlanga, 2012).

3.1.7.10. Media

La media aritmética se calculó para cada variable de interés, a fin de conocer el valor promedio de las mediciones (Rustom, 2012).

La fórmula para calcular la media aritmética es:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

Donde:

$\bar{X}$ = Media aritmética de la muestra

N = Número de elementos de la muestra

$\sum xi$ = Sumatoria de los valores de x .

3.1.7.11. Mediana

Se determinó la mediana de cada variable, lo que brindó una medida de tendencia central robusta ante valores atípicos. La mediana se calcula ordenando los datos de menor a mayor y seleccionando el valor central (Rustom, 2012).

3.1.7.12. Varianza

Se calculó la varianza de cada variable, lo que indicó la dispersión de los datos en torno a la media (Posada, 2016).

La fórmula para calcular la varianza es:

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

S^2 = Varianza

X_i = Término de conjunto de datos

$\bar{X}$ = Medida de la muestra

$\sum$ = Sumatoria

n = Tamaño de la muestra

3.1.7.13. Desviación estándar

La desviación estándar es una medida de dispersión que indica cuánto se desvían, en promedio, los valores de una variable con respecto a su medio. Se calcula como la raíz cuadrada de la varianza y permite cuantificar la dispersión de los datos (Posada, 2016).

La fórmula para calcular la desviación estándar es:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

Σ = Sumatoria

X_i = Término de conjunto de datos

$\bar{x}$ = Media aritmética.

n = muestra

3.1.8 Población y muestra

3.1.8.1. Población

El estudio se realizó en una empresa de servicios ambientales, ubicada en Petrillo, en un área aproximada de 3,16 hectáreas de bosque seco, donde encontramos una gran población de *Tectona grandis* en el área de estudio.

3.1.8.2. Muestra

Para la toma de muestra existe una diferencia en la población de las especies, donde el Guasmo cuenta con 33 individuos, mientras que la Teca tiene 1502 individuos, se seleccionaron 30 individuos de cada especie de manera aleatoria. Este proceso considera factores como el acceso a la zona de estudio y la altura de los árboles.

3.1.9 Análisis estadístico

3.1.9.1. Estadística descriptiva

Se realizó un análisis descriptivo de las variables morfológicas medidas, incluyendo el DAP, la altura total y la biomasa aérea de cada especie. Para cada variable, se calcularon medidas de tendencia central, como la media y la mediana, que permitieron conocer el valor promedio y la medida central de los datos. Asimismo, se calcularon medidas de dispersión, como la desviación estándar y los valores mínimos y máximos, que indicaron la variabilidad de los datos.

3.1.10 Propuesta de un plan de reforestación mediante el uso de especies nativas para la compensación de huella de carbono.

Para realizar el plan de reforestación se estructuró en fases secuenciales que abarcaron desde la planificación inicial hasta el monitoreo y la participación comunitaria. Este enfoque permitió garantizar la sostenibilidad del proceso de

reforestación en un ecosistema frágil como el bosque seco. A continuación, se describen las fases ejecutadas:

Fase 1. Planificación y Selección de Especies: En esta fase se establecieron las bases del proyecto. Primero, se identificaron las especies nativas más adecuadas mediante investigación bibliográfica, considerando su resistencia a la sequía y adaptación al ecosistema. Además, se incluyó la evaluación de la capacidad de regeneración natural del área. La duración estimada fue de una a dos semanas.

Fase 2. Preparación del Sitio: Una vez seleccionadas las especies, se determinó la densidad de plantación. Posteriormente, se propone labores de limpieza, eliminando residuos y especies invasoras sin afectar la biodiversidad existente.

Fase 3. Plantación: Se elaboró un plan de siembra que contempló la distancia entre individuos, la distribución de especies y las técnicas de plantación más adecuadas. Previo a la ejecución, se planeó involucrar a voluntarios y miembros de la empresa en las técnicas correctas de siembra y cuidado inicial.

Fase 4. Mantenimiento y Monitoreo: Concluida la plantación, se estableció un plan de mantenimiento que incluyó riego periódico en períodos críticos de sequía y prácticas de conservación de humedad mediante cobertura vegetal. Asimismo, se implementaron medidas de control biológico de plagas con el fin de evitar daños al ecosistema.

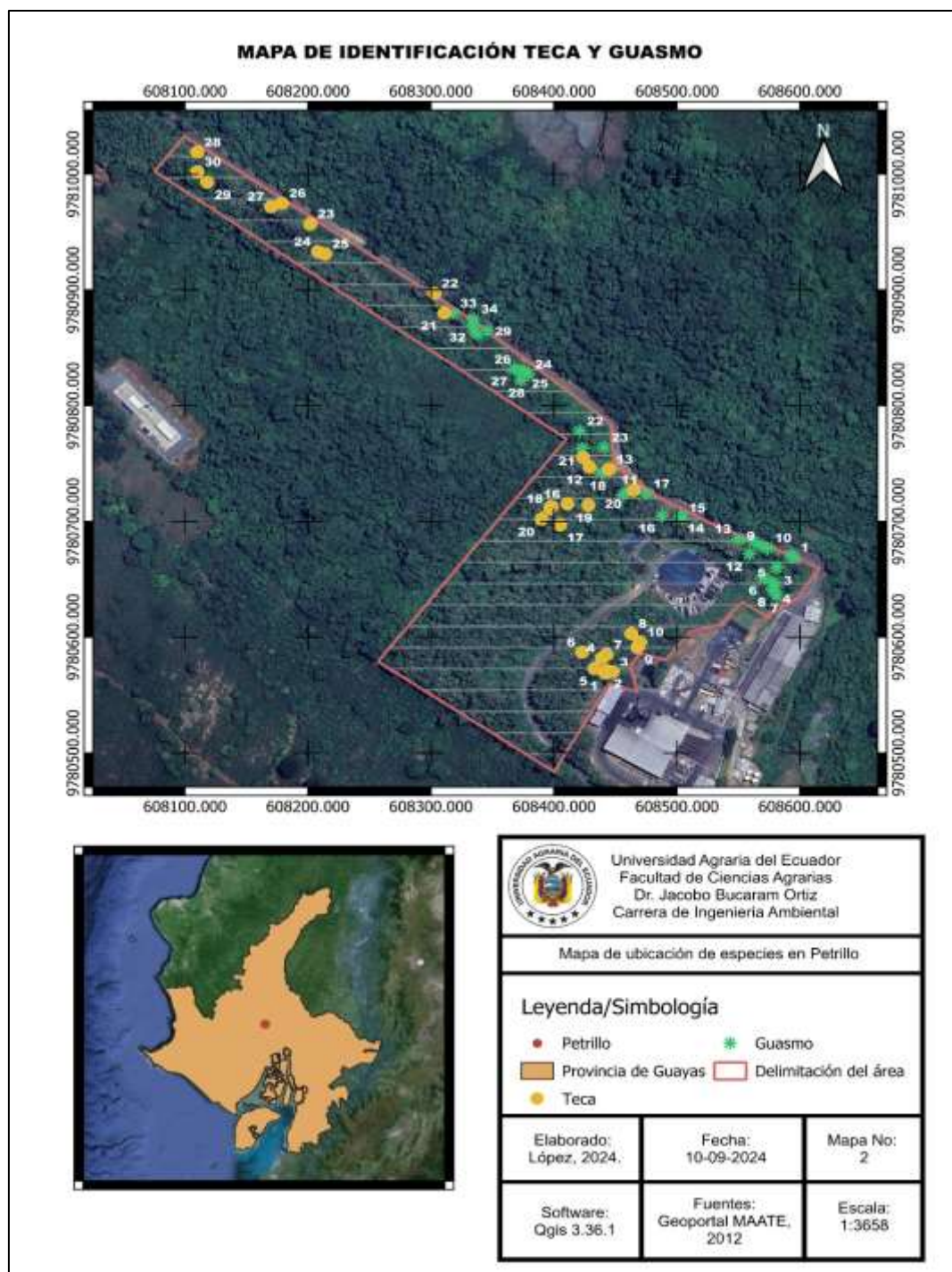
Fase 5. Educación y Participación Comunitaria: La última fase estuvo orientada a la sostenibilidad social del proyecto. Se propusieron temas para las charlas y actividades educativas dirigidas a la comunidad sobre la importancia del bosque seco, la biodiversidad y el rol de la reforestación frente al cambio climático. Se implementaron incentivos ecológicos para fomentar la participación comunitaria, como reconocimientos y capacitaciones complementarias.

4 RESULTADOS

Detalle de las áreas donde se encuentran las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* en una empresa de servicios ambientales mediante el uso de SIG.

Figura 1

Mapeo de presencia de especies Guazuma ulmifolia y Tectona grandis en área de estudio



Elaborado por: La Autora, 2025

El mapa realizado, muestra la ubicación de las especies *Tectona grandis* (teca) y *Guazuma ulmifolia* (guasmo) en el área delimitada de la empresa de servicios ambientales ubicada en el recinto Petrillo, cantón Nobol provincia de Guayas, Ecuador. Este estudio se realizó con el objetivo de identificar y mapear las áreas específicas donde se encuentran estas especies en los terrenos de la empresa, para poder tomar las muestras de datos de altura y circunferencia de las especies arbóreas (**ANEXO N° 2**).

Para ello, se tomó las coordenadas de forma al azar 30 individuos de cada especie, con ayuda de una imagen satelital permite observar con detalle la distribución de ambas especies dentro del área de estudio, la cual está delimitada en el mapa por un polígono rojo (**ANEXO N° 3 y 4**).

Cada punto amarillo en el mapa representa un ejemplar de *Tectona grandis*, logrando una muestra aleatoria de 30 individuos en total que serán utilizadas para el presente estudio. Por otro lado, los puntos señalados con una estrella verde indican la ubicación de *Guazuma ulmifolia*, con una muestra de 34 individuos, los cuales se distribuyen principalmente en la parte sureste del terreno. Además, se enumeró cada ejemplar para facilitar su localización y permitir un análisis detallado de su distribución en el área. Los datos UTM se encuentra en (**ANEXO N° 5**).

La delimitación del área de estudio se definió cuidadosamente, según criterio de accesibilidad y presencia de las especies de estudio, permitiendo observar la concentración de especies en un espacio controlado. Esta delimitación es crucial para planificar acciones de manejo forestal, tomando en cuenta la distribución natural de estas especies en relación con otras infraestructuras de la empresa y las características del entorno en Petrillo.

En la esquina inferior izquierda del mapa, se incluye un recuadro con la provincia de Guayas resaltada en la leyenda que indica la ubicación aproximada de Petrillo dentro de la provincia. Esta referencia geográfica proporciona la identificación de la zona de estudio en relación con el resto de Guayas.

4.1.1 Línea base ambiental

4.1.1.1. Medio físico

4.1.1.1.1. Geomorfología

La topografía del cantón Nobol se distingue por ser plano, con una altitud media de cinco metros sobre la superficie terrestre. La geomorfología de la

región abarca las llanuras aluviales, utilizadas en la agricultura para la producción de arroz y otras actividades de la zona.

La Llanura Aluvial Reciente, que ocupa el 33,44% del territorio, está formada por terrenos planos susceptibles a inundaciones, los cuales se utilizan principalmente para cultivos como el arroz y arboricultura tropical, incluyendo cacao y banano. Por otro lado, la Llanura Aluvial Antigua, con un 26,04% de cobertura, se distingue por su topografía plana a ligeramente ondulada, formada por depósitos aluviales consolidados pertenecientes a la formación Pichilingue. También se pueden encontrar los Relieves Estructurales y Colinados Terciarios, consisten en terrenos con pendientes menores al 12% y cimas redondeadas, asociados a la formación Balzar (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nobol, 2020).

4.1.1.1.2. Suelo

El suelo presenta características específicas en cuanto a su tipo de suelo, lo que influye en su uso agrícola que abarca el 48,65% de su superficie total, mientras que la vegetación natural representa el 43,77% del área. Los suelos son predominantemente franco-arcillosos, lo que les confiere una buena capacidad de retención de humedad y nutrientes, siendo ideales para el cultivo de productos agrícolas tropicales, el 7,58% restante se destina a actividades forestales y otras coberturas. Las plantaciones forestales, como las de teca y roble, abarcan 291,33 hectáreas (2,11%). Según (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nobol, 2020), estos suelos tienen un drenaje moderado y presentan una fertilidad que varía de media a alta, con un pH que favorece el crecimiento de diversas especies vegetales.

La composición del suelo incluye una mezcla de arcilla y limo, lo que permite una adecuada aireación y facilita el desarrollo radicular de las plantas. Esta característica es especialmente beneficiosa para cultivos como el arroz, mango, sandía y ciruelas, que son predominantes en la zona. Sin embargo, la presión del desarrollo agroindustrial ha llevado a una disminución de las áreas con vegetación nativa, afectando así la diversidad biológica local.

4.1.1.1.3. Hidrología

El sistema hídrico está influenciado por la presencia de la cuenca baja del río Daule, que recorre su territorio como uno de los afluentes más importantes. Este río es esencial tanto para las actividades agrícolas como para el

abastecimiento de agua en las zonas rurales y urbanas del cantón. Además, la llanura aluvial que domina gran parte del territorio facilita la formación de esteros y humedales, los cuales son fuentes adicionales de agua y hábitats importantes para la biodiversidad local (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nobol, 2020).

4.1.1.1.4. Climatología

El clima es tropical, con temperaturas promedio que oscilan entre 24°C y 30°C a lo largo del año. Las precipitaciones anuales son abundantes, alcanzando hasta 2 000 mm, lo que favorece un ambiente propicio para el crecimiento de diversas especies arbóreas. El período lluvioso se extiende desde diciembre hasta mayo, lo cual es crítico para la agricultura local y el mantenimiento de los ecosistemas forestales (Zeballos y López, 2023).

4.1.1.1.5. Temperatura

Según datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), la temperatura media anual en esta región es de aproximadamente 25°C. Las temperaturas mínimas suelen registrarse alrededor de 18°C durante la noche, especialmente en los meses más frescos, mientras que las máximas pueden alcanzar hasta 34°C durante el día, particularmente en enero y febrero. Siendo en los meses de enero se reportaron temperaturas de hasta 33°C (máxima) y 22°C (mínima), mientras que en febrero se alcanzan los 34°C (máxima) y 22°C (mínima). Estos patrones térmicos son representativos del clima cálido y húmedo que caracteriza a la región costera ecuatoriana (INAMHI, 2022).

4.1.1.1.6. Evaporación y humedad relativa

La tasa promedio de evaporación en Nobol es aproximadamente de 4 mm/día durante los meses secos. La humedad relativa en la región varía entre el 70% y el 90%, creando un ambiente propicio para el crecimiento arbóreo y agrícola. Según un informe del INAMHI, estos niveles de humedad son cruciales para maximizar la fotosíntesis en las plantas y mantener un equilibrio hídrico adecuado en los suelos (INAMHI, 2022).

4.1.1.1.7. Precipitación

Se estima que las precipitaciones pueden alcanzar hasta 2500 mm anuales, con un régimen lluvioso que se concentra principalmente entre diciembre y mayo. Este patrón es esencial para mantener la fertilidad del suelo

y apoyar las prácticas agrícolas predominantes en la región. Según datos del Ministerio del Ambiente, las precipitaciones estacionales son críticas para el ciclo biológico de las plantas y afectan directamente su capacidad para crecer y desarrollarse, las zonas agrícolas enfrentan problemas de déficit hídrico, con precipitaciones medias anuales de 700 a 1 100 mm y una evapotranspiración potencial que oscila entre 1 500 y 1 600 mm, lo que genera desafíos para el riego y la sostenibilidad de los cultivos durante las temporadas secas (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nobol, 2020).

4.1.1.2. Medio biótico

4.1.1.2.1. Flora

La flora que se encuentra es variada, pero ha sido afectada por la agricultura intensiva. Sin embargo, aún se pueden encontrar algunas especies nativas que son representativas de la región. Según un estudio realizado por (Cornejo, 2015), las especies vegetales que predominan en el área incluyen el algarrobo (*Prosopis pallida*), guaba (*Inga edulis*), laurel (*Laurus nobilis*), bototillo (*Brosimum alicastrum*), pechiche (*Gustavia superba*), muyuyo (*Moringa oleifera*), esponja vegetal (*Luffa cylindrica*), guayacan (*Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson), ceibo (*Ceiba trichistandra*), ébano (*Ziziphus thyrsoiflora* Benth), palo santo (*Bursera graveolens*) y madero negro (*Tabebuia billbergii*). Estas especies son importantes no solo por su valor ecológico, sino también por su uso en la medicina tradicional y la artesanía local.

4.1.1.2.2. Fauna

La fauna del cantón Nobol es diversa, especialmente debido a su cercanía al río Daule, que proporciona un hábitat adecuado para diversas especies. Se destaca que en la región se pueden encontrar aves como garzas (*Ardea alba*), gavilanes (*Buteo* spp.), águilas (*Aquila chrysaetos*), picaflor (*Trochilidae*), pericos (*Psittacidae*) y patos silvestres (*Anas platyrhynchos*). Estas aves son fundamentales para el equilibrio ecológico, ya que contribuyen a la dispersión de semillas y al control de poblaciones de insectos (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nobol, 2020).

En cuanto a la fauna terrestre, se han documentado mamíferos como zorros (*Lycalopex* spp.) y venados (*Mazama* spp.), que habitan en las áreas menos intervenidas del cantón.

4.1.1.2.3. Medio socioeconómico

La economía en su mayoría proviene de la agricultura, con el cultivo de productos como arroz, ciruelas y mangos que representan una parte significativa de su producción. Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) 2020-2027, el cultivo de ciruelas es especialmente relevante, ya que Nobol es uno de los principales productores a nivel nacional. Se estima que alrededor del 35% de la población activa está involucrada en actividades agrícolas (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nobol, 2020).

4.1.1.2.4. Demografía

La población del cantón Nobol es aproximadamente de 40,000 habitantes según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Este crecimiento poblacional ha sido significativo en los últimos años y presenta una alta proporción de jóvenes; alrededor del 42% son menores de 20 años (INEC, 2022). Esta estructura demográfica resalta la importancia de implementar políticas que promuevan el desarrollo sostenible y la educación ambiental para asegurar un futuro próspero.

Comparación de la capacidad de captura de carbono de cada especie presente en el área de estudio mediante técnicas estadísticas

En ANEXO N°1 se registran los datos recopilados en campo de 30 individuos de *Tectona grandis* y 30 individuos *Guazuma ulmifolia*. Cada uno de estos árboles fue georreferenciado, los datos a continuación son los datos estadísticos promedios del muestreo de 30 individuos de ambas especies.

Tabla 1

Análisis morfométricos *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*.

Individuos	Especies					
	<i>Tectona grandis</i>			<i>Guazuma ulmifolia</i>		
	CAP (m)	DAP (m)	ALTURA (m)	CAP (m)	DAP (m)	ALTURA (m)
Suma	22,17	7,06	527,67	7,92	2,53	201,52
Promedio	0,74	0,24	17,59	0,27	0,08	6,72
Varianza	0,0103	0,0011	9,51	0,0064	0,0007	3,51
Desv. Est.	0,1017	0,032	3,08	0,08	0,027	1,87
Máximo	0,93	0,30	25,01	0,45	0,14	10,28

Mínimo	0,56	0,18	13,31	0,10	0,03	2,22
---------------	------	------	-------	------	------	------

Elaborado por: La Autora, 2025

En la **tabla 1** se muestra los valores obtenidos en los análisis morfométricos de las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*, donde se incluyen valores promedio, varianza, desviación estándar, así como los valores máximos y mínimos de CAP, DAP y altura.

Para la especie *Tectona grandis*, se registró un valor promedio CAP de 0,74 m, con una varianza de 0,0103 m, una desviación estándar de 0,1017 m, un máximo de 0,93 m y un mínimo de 0,56 m, acumulando una suma 22,17 m.

Mientras el DAP tuvo un promedio de 0,24 m, con una variación de 0,0011 m y una desviación estándar de 0,032 m, obteniendo una suma de 7,06. Los valores fueron un máximo de 0,30 m y un mínimo de 0,18 m. En cuanto a la altura, se obtuvo una media de 17,59 m, con una variación de 9,51 m y una desviación estándar de 3,08 m. Los valores máximos y mínimos de altura fueron de 25,01 m a 13,31 m, dando una suma de 527,67 m.

Para la especie *Guazuma ulmifolia*, se obtuvo un valor promedio de CAP de 0,27 m, con una variación de 0,0064 m y una desviación estándar de 0,08 m. Los valores máximo de 0,45 m y un mínimo de 0,10 m, acumulando una suma total de 7,92 m. En cuanto al DAP, se obtuvo un promedio de 0,08 m, con una variación de 0,0007 m y una desviación estándar de 0,027 m; Los valores máximos de 0,14 m y un mínimo de 0,03 m, sumando un total de 2,33 m. Respecto a la altura, se registró un promedio de 6,72 m, con una variación de 3,51 m y una desviación estándar de 1,87 m. Los valores máximos y mínimos de altura fueron de 10,28 m y 2,22 m, respectivamente, dando una suma total de 201,52 m.

Obtención de área basal y volumen *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*

Tabla 2

Resultados estadísticos área basal y volumen.

Individuos	Especies			
	<i>Tectona grandis</i>		<i>Guazuma ulmifolia</i>	
	ÁREA BASAL	VOLUMEN	ÁREA BASAL	VOLUMEN
	(m2)	(m3)	(m2)	(m3)
Suma	1,328	11,642	0,182	0,697

Promedio	0,044	0,388	0,006	0,023
Varianza	0,000146	0,015258	0,000014	0,000374
Desv. Est.	0,012	0,124	0,004	0,019
Máximo	0,069	0,685	0,016	0,096
Mínimo	0,025	0,190	0,001	0,002

Elaborado por: La Autora, 2025

En la **tabla 2** la especie *Tectona grandis* registró un área basal media de 0,044 m², con una variación de 0,000146 m² y una desviación estándar de 0,012 m². El valor máximo de 0,069 m² y un mínimo de 0,025 m², y un total de 1,328 m². En cuanto al volumen, el promedio fue de 0,388 m³, con una variación de 0,015258 m³ y una separación estándar de 0,124 m³. Los valores de volumen máximo y mínimo fueron de 0,685 m³ y 0,190 m³ respectivamente, y un total de 11,642 m³.

Por su parte, para *Guazuma ulmifolia* se registró un área basal media de 0,006 m², con una variación de 0,000014 m² y una desviación estándar de 0,004 m². Los valores de área basal máximo y mínimo de 0,016 m² y 0,001 m², y un total de 0,182 m². En cuanto al volumen, la especie presentó un promedio de 0,023 m³, con una variación de 0,000374 m³ y una separación estándar de 0,019 m³. Los valores de volumen máximo y mínimo fueron respectivamente de 0,096 m³ y 0,002 m³, para un total de 0,697 m³.

Estos resultados indican que *Tectona grandis* tiene un área basal y volumen significativamente mayor en comparación con *Guazuma ulmifolia*, lo que refleja su mayor tamaño y crecimiento en el hábitat analizado.

Estimación de biomasa *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*

En la **tabla 3** se presentan los resultados del análisis de biomasa para las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* expresados en kilogramos (Kg). Para convertir estos valores a toneladas por hectárea (t/ha), se utilizó la densidad típica de cada especie, que fue de 625 árboles por hectárea para *Tectona grandis* y 1 111 árboles por hectárea para *Guazuma ulmifolia*. Estas densidades se multiplicaron por el promedio de biomasa (Kg) de cada especie, lo que permitió calcular la biomasa total en términos de t/ha.

Tabla 3

Resultados estadísticos biomasa *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*

Individuos	Especies	
	<i>Tectona grandis</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>
	Biomasa (Kg)	Biomasa (Kg)
Suma	1727,09	746,75
Promedio	57,57	24,89
Varianza	103,25	248,98
Desv. Est.	10,16	15,78
Máximo	77,05	68,80
Mínimo	40,20	3,06
Biomasa (t/ha)	35,98	27,65

Elaborado por: La Autora, 2025

Para *Tectona grandis*, se registró una biomasa promedio de 57,57 Kg, con una variación de 103,25 Kg y una desviación estándar de 10,16 Kg. El valor máximo de 77,05 Kg y un mínimo de 40,20 Kg, acumulando un total de 1727,09 Kg. En términos de biomasa expresada en toneladas por hectárea, se obtuvo un valor de 35,98 t/ha.

En el caso de *Guazuma ulmifolia* se observó una biomasa promedio de 24,89 Kg, con una variación de 248,98 Kg y una desviación estándar de 15,78 Kg. Los valores máximos y mínimos para la biomasa fueron de 68,80 Kg y 3,06 Kg, respectivamente, sumando un total de 746,75 Kg. La biomasa para esta especie, expresada en toneladas por hectárea, fue de 27,65 t/ha.

El que mostró mayor cantidad de biomasa en los 30 individuos fue la especie *Tectona grandis* con una suma 1727,09 kg, mientras que la especie *Guazuma ulmifolia* mostró menor biomasa 746,75 Kg.

Captura de carbono y CO₂ *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*

4.1.2 Estimación de captura de carbono y CO₂ *Tectona grandis*

Los resultados del análisis de carbono y dióxido de carbono (CO₂) para los 30 individuos estudiados de cada especie, *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* indican diferencias significativas en su capacidad de almacenamiento. Para obtener el resultado se multiplica la biomasa (t) por la cantidad individuos

seleccionados. En este caso *Tectona grandis* registró un total de 0,86 toneladas de carbono, lo que equivale a 3,17 toneladas de CO₂. En contraste, *Guazuma ulmifolia* mostró un total de 0,37 toneladas de carbono, equivalente a 1,37 toneladas de CO₂. Como se muestra en la **tabla 4**.

Tabla 4

Resultados estadístico 30 individuos carbono y CO₂.

Individuos	Especies			
	<i>Tectona grandis</i>		<i>Guazuma ulmifolia</i>	
	CARBONO (t)	CO ₂ (t)	CARBONO (t)	CO ₂ (t)
Total	0,86	3,17	0,37	1,37

Elaborado por: La Autora, 2025

4.1.3 Estimación captura de carbono y CO₂ *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* por hectárea

Los resultados presentados en la **Tabla 5** corresponden a la estimación de carbono (C) y dióxido de carbono (CO₂) que se puede encontrar en una hectárea, considerando una densidad de 625 árboles de *Tectona grandis* y 1 111 árboles de *Guazuma ulmifolia*. Estas densidades se multiplicaron por la biomasa (t/ha) y luego se dividieron por 1 000 (ha). Como resultado, para la especie *Tectona grandis* se estimaron 17,99 t de C, lo que equivale a 66,03 t de CO₂. En comparación, *Guazuma ulmifolia* presentó un total de 13,83 t de C, equivalente a 50,75 t de CO₂.

Tabla 5

Resultados estadísticos (t/ha) de carbono y CO₂.

Individuos	Especies			
	<i>Tectona grandis</i>		<i>Guazuma ulmifolia</i>	
	CARBONO (t/ha)	CO ₂ (t/ha)	CARBONO (t/ha)	CO ₂ (t/ha)
Total	17,99	66,03	13,83	50,75

Elaborado por: La Autora, 2025

La comparación entre las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* revela diferencias significativas en su capacidad de captura de carbono y su contribución al secuestro de dióxido de carbono (CO₂) en el ambiente. En una hectárea con 625 árboles de *Tectona grandis* se estimó un total de 17,99 toneladas de carbono, lo que equivale a 66,03 t de CO₂. Esta capacidad de almacenamiento es notablemente superior a la de *Guazuma ulmifolia*, que presentó un total de 13,83 t de C, equivalente a 50,75 t de CO₂ en una hectárea con 1 111 árboles. Estos valores pueden variar según la distancia en el que son plantados las especies.

4.1.4 Prueba T student

En la **tabla 6** se muestra la comparación entre *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* donde se realizó el análisis estadístico T de Student para las variables de biomasa, carbono y CO₂ como se muestra a continuación:

Tabla 6

Análisis estadístico T de Student

Variable	<i>Tectona grandis</i> (Media)	<i>Guazuma ulmifolia</i> (Media)	Valor t	Valor p	Intervalo de Confianza (95 %)
Biomasa	57,57 kg/árbol	24,89 kg/árbol	- 9,5367	8,526 × 10 ⁻¹³	(-39,56188, - 25,79377)
Carbono Capturado	0,0288 t/árbol	0,0124 t/árbol	9,5367	8,526 × 10 ⁻¹³	(0,01289688, 0,01978094)
CO ₂ Almacenado	0,1056 t/árbol	0,0457 t/árbol	- 9,5367	8,526 × 10 ⁻¹³	(-0,07259605, -0,04733156)

Elaborado por: La Autora, 2025

La biomasa promedio *Tectona grandis* fue de 57.57 kg/árbol, siendo mayor a comparación de *Guazuma ulmifolia*, que arrojó una media de 24.89 kg/árbol. El intervalo de confianza del 95% para la diferencia de medias estuvo entre -39,56188 y -25,79377, lo que confirma una diferencia significativa con un valor de p validado (< 0,0001). El valor calculado fue -9,5367, lo que demuestra que la diferencia observada no puede atribuirse al azar.

En cuanto a la captura de carbono, la especie *Tectona grandis* produjo 0,0288 t, mientras que la especie *Guazuma ulmifolia* produjo 0,0124 t. La diferencia promedio fue de 0,0164 t con un intervalo de confianza entre 0,01289688 y 0,01978094. El valor t obtenido fue 9,5367 y el valor p asociado ($<0,0001$) rechaza firmemente la hipótesis nula de igualdad de medias.

En cuanto al CO₂ almacenado, los árboles de *Tectona grandis* muestran un promedio de 0,1056 t/árbol, un poco superior al promedio de 0,0457 t/árbol observado en *Guazuma ulmifolia*. Se calculó que la diferencia promedio era de 0,0599 t con un intervalo de confianza del 95% entre -0,07259605 y -0,04733156. El valor t de -9,5367 y el valor p más bajo ($<0,0001$) validan esta diferencia.

Propuesta del plan de reforestación mediante el uso de especies nativas para la compensación de huella de carbono.

4.1.5 Antecedentes

El bosque seco en la provincia de Guayas es un ecosistema crítico que enfrenta serias amenazas debido a la deforestación y la degradación ambiental. Este tipo de bosque, caracterizado por su biodiversidad y su capacidad para almacenar carbono, ha sido objeto de diversas iniciativas de conservación y reforestación. Según un estudio de Rodríguez, Sánchez y Villarreal (2015), se estima que en Ecuador se deforestan aproximadamente 47 700 ha de bosque al año, lo que subraya la necesidad urgente de implementar estrategias efectivas para su restauración.

4.1.6 Objetivo general

Proponer un plan de reforestación sostenible, enfocado en la restauración del bosque seco y reducción de huella de carbono mediante la selección de especies nativas en una empresa de servicios ambientales en el recinto Petrillo cantón Nobol, provincia del Guayas.

4.1.7 Objetivos específicos

Investigar especies que maximicen la captura de carbono y se adapten mejor a las condiciones del bosque seco.

Desarrollar un conjunto de prácticas para la reforestación, mantenimiento y gestión del área reforestada, asegurando su sostenibilidad.

Involucrar a la comunidad en actividades de reforestación y educación ambiental.

4.1.8 Alcance

El alcance de esta investigación se centra en la evaluación y propuesta de un plan de reforestación en el recinto Petrillo, en la provincia de Guayas, específicamente en áreas de bosque seco en una empresa de servicios ambientales. Se delimitarán espacios de terreno donde se implementará la reforestación con especies arbóreas seleccionadas. La metodología de reforestación se basará en prácticas sostenibles y adaptadas a las condiciones locales, incluyendo técnicas como la siembra directa, tal como sugiere investigaciones que destacan la importancia de la selección adecuada de especies para maximizar la supervivencia y el crecimiento (Chazdon, 2008). Además, se establecerán protocolos para el monitoreo del crecimiento arbóreo y la captura de carbono a lo largo del tiempo, utilizando metodologías científicas validadas (IPCC , 2006). Este enfoque permitirá evaluar el impacto del proyecto en la restauración del ecosistema y su contribución a la mitigación del cambio climático. Por último, el proyecto propone incluir la participación activa de la comunidad en todas las etapas, promoviendo la educación ambiental y el empoderamiento social (Siqueria y Ludmia, 2021). En conjunto, este alcance busca contribuir al conocimiento sobre la reforestación en ecosistemas secos y proporcionar un modelo replicable que pueda ser implementado en otras áreas con características similares. El proyecto pretende reforestar los espacios libres del área estudiada y en lo posterior avanzar a otras sedes de la organización que están aún sin reforestación cuyos ecosistemas pertenecen igualmente a bosque seco tropical.

4.1.9 Beneficiarios

- Comunidades locales: Habitantes del cantón Petrillo
- Instituciones: Estudiantes que pueden utilizar la investigación para la elaboración de proyectos.
- Organizaciones ambientales: Grupos e instituciones que trabajan en conservación y sostenibilidad.

4.1.10 Propuesta

El presente documento propone un plan de reforestación sostenible en el recinto Petrillo, orientado en la reforestación del bosque seco y la maximización de la captura de carbono a través de la selección y plantación de especies arbóreas nativas. Este enfoque se fundamenta en la creciente necesidad de

mitigar el cambio climático mediante la captura de carbono, así como en la importancia ecológica de los bosques secos como ecosistemas que albergan una rica biodiversidad y proporcionan servicios ecosistémicos esenciales.

La metodología adoptada presenta un enfoque de investigación científica y participación comunitaria. Se investigó sobre las especies arbóreas nativas más adecuadas para el área, considerando factores como tasas de crecimiento, capacidad de fijación de carbono y adaptabilidad a las condiciones edáficas climáticas locales. Las plántulas serán facilitadas por convenios estratégicos con el GAD municipal de Guayaquil como en ocasiones anteriores.

4.1.11 Especies elegibles

Se seleccionaron 6 especies nativas tomando en cuenta sus características fisiológicas, su tiempo de crecimiento y adaptabilidad al área de estudio (**Tabla 7**), la información se obtuvo de la Guía de especies forestales de los bosques secos del Ecuador (2012).

Tabla 7

Taxonomía de especies de bosque seco.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Características
Guayacán	<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	Bignoniaceae	Es una especie maderable, puede alcanzar hasta 20 m de altura, con un tronco que llega a alcanzar los 40 cm de diámetro. Para su plantación, se recomienda una distancia de 3 x 3 m.
Ceibo	<i>Ceiba trichistandra</i>	Bombacaceae	Es una especie con una altura hasta 40 m, con un diámetro de tronco que varía entre 1 a 2 m. La distancia de plantación recomendada es de 5 x 5 m o 8 x 8 m esto dependiendo del propósito.

Ébano	<i>Ziziphus thyrsoiflora Benth</i>	Rhamnaceae	Puede alcanzar una altura hasta 18 m, con un diámetro que varía. Su crecimiento es moderado, y para su plantación es recomendable sugiere una distancia de 5 x 5 m o 6 x 6 m.
Palo Santo	<i>Bursera graveolens</i>	Burseraceae	Conocido por sus propiedades aromáticas y medicinales, esta especie tiene una altura hasta 12 m, con un diámetro de 40 cm. En proyectos de restauración, se recomienda una distancia de plantación de 4 x 4 m.
Madero Negro	<i>Tabebuia billbergii</i>	Bignoniáceas	Su crecimiento es rápido a moderado según las condiciones del suelo, su altura llega de 10 a 15 m, con un DAP de hasta 40 cm. Para su plantación en proyectos de reforestación, se sugiere un espaciamiento de 5 x 5 metros.
Almendro	<i>Geoffroea spinosa Jacq.</i>	Fabaceae	Esta especie se conoce además como pepa de vaca, se utiliza para la mejora del suelo. Su altura es de 20 m, diámetro de su tronco es hasta 40 cm, para su plantación se recomienda un espacio de 6 x 6 m a 8 x 8 m según su propósito.

4.1.12 Plan de reforestación

Tabla 8

Plan de acción de la propuesta de reforestación.

Fase 1: Planificación y selección de especies				
Actividad	Descripción	Responsable	Plazo	
Identificación de especies nativas	Realizar un inventario de especies arbóreas adecuadas para el área de estudio.	Equipo de investigación	Una semana	
Consultas con expertos locales	Organizar reuniones con botánicos y ecologistas para validar las especies seleccionadas.	Coordinador del Proyecto	Tres días	
Evaluación de la capacidad de regeneración natural	Facilitar talleres comunitarios para involucrar a la población local en la selección de especies.	Educador ambiental	Un día	
Evaluación de la capacidad de regeneración	Analizar si el área cuenta con especies con capacidad de regeneración natural	Equipo técnico	Una semana	
Fase 2: Preparación del sitio				
Delimitación de áreas de plantación	Delimitar las zonas en las que se realizará la reforestación y determinar densidad de plantación.	Equipo técnico	Dos días	
Limpieza del área	Eliminar residuos y especies invasoras que puede afectar a la biodiversidad.	Equipo técnico	Dos a tres días	
Análisis del suelo	Evaluar la textura, nutrientes y humedad del	Laboratorio Local	Una semana	

	suelo para determinar enmiendas necesarias.		
Implementación de técnicas sostenibles	Aplicar técnicas adecuadas para la conservación del suelo, como el control de erosión y cobertura vegetal (aireación, materia orgánica, barreras para la erosión, entre otros)	Agrónomo	Una semana
Fase 3: Plantación			
Diseño del plan	Determinar la distancia entre plántulas, combinación de especies y métodos de plantación.	Coordinador del proyecto	Tres días
Capacitación sobre técnicas de plantación	Instruir a voluntarios en métodos de plantación, manejo de plantas y primeros cuidados	Educador ambiental	Un día
Ejecución de la plantación	Realizar la plantación de plántulas seleccionadas en las áreas designadas, asegurando un manejo adecuado.	Voluntarios	Uno a tres días
Protección de plántulas	Asignar encargado y cercas protectoras para evitar daños por fauna silvestres o factores climáticos.	Equipo técnico	Tres días
Fase 4: Mantenimiento y monitoreo			
Riego y conservación de humedad	Implementar riego en periodos críticos y uso de cobertura vegetal.	Equipo técnico	Cada dos semanas

				durante seis meses.
Control biológico de plagas	Aplicar métodos ecológicos para evitar la proliferación de plagas	Equipo técnico		Cada dos meses durante un año.
Monitoreo del crecimiento	Medir altura, diámetro y tasa de supervivencia de las plantas	Equipo técnico		Mensual durante un año
Evaluación de captura de carbono	Calcular el carbono fijado por la reforestación a través de mediciones alométricas	Equipo de investigación		Recomendado después de un año
Fase 5: Educación y participación comunitaria				
Sensibilización ambiental	Impartir charlas donde se abarquen temas como sostenibilidad, cambio climático, importancia del bosque seco, beneficios de la biodiversidad, entre otros.	Educador ambiental		Continuo
Actividades practicas con la comunidad	Realizar actividades prácticas que involucran a la comunidad en el cuidado del bosque.	Coordinador Comunitario		Cada tres meses durante un año
Evaluación de impacto social	Realizar estudios periódicos para medir el impacto de la reforestación en la comunidad y el ecosistema.	Equipo de investigación		Al finalizar el primer año

Elaborado por: La Autora, 2025

4.1.13 Cronograma

Tabla 9

Cronograma semanal del plan de reforestación.

Objetivo		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	+ S13
Objetivo General	Proponer un plan de reforestación sostenible, enfocado en la restauración del bosque seco reducción de huella de carbono mediante la selección de especies nativas en una empresa de servicios ambientales en el recinto Petrillo cantón Nobol, provincia del Guayas.													
Objetivo Específico 1	Investigar especies que maximicen la captura de carbono y se adapten mejor a las condiciones del bosque seco.													
ACTIVIDADES	Identificación de especies nativas y consulta con expertos	X												
	Evaluación de la capacidad de regeneración natural y delimitación de áreas de plantación		X											
	Análisis del suelo para determinar su composición y necesidades			X										
Objetivo Específico 2	Desarrollar un conjunto de prácticas para la reforestación, mantenimiento y gestión del área reforestada, asegurando su sostenibilidad.													
ACTIVIDADES	Implementación de técnicas sostenibles de conservación del suelo				X									
	Diseño del plan de plantación y capacitación de voluntarios					X								
	Ejecución de la plantación y protección de plántulas						X							
	Riego, monitoreo y control de plagas							X	X	X	X	X	X	
	Evaluación de crecimiento y monitoreo de especies													X
Objetivo Específico 3	Involucrar a la comunidad en actividades de reforestación y educación ambiental.													
ACTIVIDADES	Jornadas de educación ambiental en la comunidad							X	X	X	X	X	X	
	Actividades prácticas con la comunidad para el mantenimiento del bosque													X
	Evaluación del impacto social de la reforestación													X

Elaborado por: La Autora, 2025

4.1.14 Presupuesto

Tabla 10

Estimación de presupuesto del plan de reforestación.

Actividades	Tareas	Cantidad	Valor Unit.	Monto
Fase 1: Planificación y selección de especies				
	Preparación del suelo/control de erosiones	1	200	200
Recopilación de especies	Capacitación del personal	2	150	300
	Equipo de recolección	5	50	250
Fase 2: Preparación del sitio				
Delimitación de especies en la parcela de estudio	GPS para mapeo de especies en la parcela de estudio	1	800	800
Fase 3: Plantación				
	Estacas y cintas de marcaje	50	2	500
	Mallas de captación de agua	10	25	250
	Botas	10	5	50
	Guantes	10 pares	5	50
Suministros/ materiales	Palas	5	20	100
	Plántulas guayacán	555	4	2 220
	Plántulas Ceibo	78	4	312
	Plántulas Ébano	200	4	800
	Plántulas Palo santo	312	4	1 248
	Plántulas Madero negro	200	4	800
	Plántulas Almendro	138	4	552
	Instalación de cercas de protección	1 lote	500	500
Fase 4: Mantenimiento y monitoreo				
Monitoreo y mantenimiento	Personal de mantenimiento	4	100	400
	Abono/fertilizante	50 Kg	10	500
Insumos	Bioestimulante	10 litros	15	150

Fase 5: Educación y participación comunitaria				
Educación ambiental	Material educativo	100	5	500
	Talleres sobre reforestación	4	100	400
Movilidad	Recorrido Parque empresarial Colon a Sede Petrillo (32 Km)	8 viajes	50	400
Total			2 091	9 324

Elaborado por: La Autora, 2025

5 DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio evidencian que el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), complementado con datos de campo, permite una identificación y mapeo de las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* permitiendo una localización precisa de las especies estudiadas, similar al estudio sobre la captura de carbono de *Erythrina fusca* en la Isla Santay por Maldonado (2023); en su metodología emplea el uso de SIG, utilizada para delimitar una parcela de 5 000 m², dentro de la cual se realizaron mediciones de la biomasa de la especie estudiada.

Ambos estudios coinciden en el uso de SIG para la ubicación de especies forestales, existen diferencias en su aplicación y enfoque, mientras Maldonado se enfoca en una única especie, estudiando su capacidad de almacenamiento de carbono dentro de una zona protegida de bosque seco, el presente estudio analiza dos especies con diferentes características en un área de servicios ambientales. Esta diferencia permite que la investigación aporte información sobre la coexistencia de especies y su impacto en la reforestación.

En otro estudio realizado por los autores Jiménez y Peralta (2019) evalúan la biomasa aérea en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en Costa Rica, su investigación se enfoca en la identificación de áreas con mayor densidad de árboles para estimar la biomasa total y analizar la eficiencia de la especie en la captura de carbono. Permitiendo la aplicación de SIG con las ecuaciones alométricas para obtener datos como la biomasa y el carbono almacenado.

Jiménez y Peralta (2019) emplean SIG en una plantación para estimar la biomasa de un monocultivo, mientras que en el presente estudio aplica la misma herramienta en una zona con mayor diversidad de especies y su impacto en la reforestación. Además, la identificación de especies se integra con variables ambientales, lo que mejora la precisión de los mapas y permite evaluar factores que pueden influir en la distribución de los árboles, como el suelo y la cobertura vegetal.

Jiménez, Telles, Alanís, Yerena, García y Gómez (2020) estimaron el carbono almacenado en una plantación de *Tectona grandis* en Michoacán, México, utilizando ecuaciones alométricas. Para ello, ajustaron un modelo matemático mediante el procedimiento Model y el algoritmo Gauss-Newton, considerando variables como el DAP, la altura y volumen. A diferencia de este

estudio, los parámetros dasométricos de las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia* fueron obtenidos en visitas a campo, datos que fueron utilizados en ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y carbono almacenado en cada especie.

Los autores indican que en la plantación de *Tectona grandis* almacena 77,20 toneladas de carbono por hectárea (t C/ha). En contraste, fue 17,99 t C/ha, lo que evidencia una diferencia entre ambas investigaciones, esto puede atribuirse a factores como la edad de la plantación, características dasométrica, la densidad de individuos y las metodologías empleadas.

(Sánchez, 2024) analiza la captura de carbono en *Guazuma ulmifolia* y *Triplaris cumingiana* en la Isla Santay, aplicando ecuaciones alométricas y mediciones de campo para la estimación de biomasa área y carbono almacenado, la autora eligió 25 individuos de cada especie dentro de una parcela de 0,5 ha. Los resultados obtenidos indican que *Guazuma ulmifolia* capturó 0,693 t de C en su área de estudio. En comparación, los valores obtenidos en esta investigación fueron superiores, lo que puede explicarse por las diferencias en las ecuaciones utilizadas, la densidad de árboles por hectárea y la variabilidad en la biomasa aérea de los individuos evaluados.

(Luna Florín et al., 2021) el estudio en el bosque seco de la Reserva Ecológica Arenillas, se aplicaron mediciones dasométricas como el DAP y la altura total para estimar biomasa y carbono mediante ecuaciones alométricas, metodología que guarda similitud con la utilizada en este trabajo. La aplicación de estos parámetros permitió evaluar la captura de carbono en condiciones propias del bosque seco ecuatoriano. En dicho estudio, se destaca el uso de modelos ajustados al tipo de vegetación, lo cual mejora la precisión en los resultados y minimiza los márgenes de error en los cálculos de biomasa aérea.

Los resultados revelan que la especie *Ceiba trichistandra* capturó valores altos, con 219,39 t/ha de biomasa aérea y 376,42 t/ha de carbono, debido a su gran porte y características estructurales. Estas cifras contrastan con los valores estimados para *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*, esta comparación evidencia la importancia de ajustar los modelos a las condiciones locales y considerar las particularidades de cada especie, especialmente en bosques secos, donde la diversidad estructural incide directamente en la captura de carbono.

El Plan de Forestación y Reforestación de la Provincia de Imbabura [PFRPI] (2021) establece una estrategia para la remediación de los ecosistemas degradados mediante la reforestación con especies nativas, promoviendo la restauración ambiental y captura de carbono. De manera similar, la propuesta de reforestación planteada busca mitigar la huella de carbono mediante la restauración de áreas específicas con especies adaptadas a las condiciones locales. Ambos planes coinciden en la necesidad de integrar la reforestación como una herramienta para la conservación de la biodiversidad y la regulación climática, siendo importante la capacitación de comunidades en el manejo y monitoreo de áreas reforestadas garantiza en ambos planes su durabilidad a largo plazo y maximizar sus impactos ambientales y socioeconómicos.

La empresa Aglomerados Cotopaxi (2024) resalta la importancia de reducir las emisiones industriales de carbono mediante la implementación de procesos eficientes y el uso de residuos de madera en su producción. En este contexto, la reforestación con especies nativas complementa estas acciones, ya que actúa como una estrategia de compensación de carbono, capturando las emisiones residuales que no pueden ser eliminadas a través de la optimización industrial.

Mientras que la estrategia de Aglomerados Cotopaxi se enfoca en reducir emisiones en la etapa productiva, la reforestación con especies nativas permite un enfoque complementario, al capturar CO₂ atmosférico y mejorar los ecosistemas. La combinación de estas iniciativas contribuye a la generación de un modelo de sostenibilidad, donde la industria no solo minimiza su impacto ambiental a través de procesos internos, sino que también propone programas de restauración ecológica para compensar sus emisiones restantes.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En el presente estudio, mediante las visitas a campo, se registraron 34 ejemplares de *Guazuma ulmifolia*, distribuidos en áreas con pendientes y de difícil acceso, en contraste con *Tectona grandis* presente en una amplia zona del bosque de aproximadamente 3 ha, con árboles plantados alrededor de 15 años. Asimismo, la línea base ambiental permitió conocer las características morfológicas del área y las especies de flora, lo cual constituye un insumo fundamental para planificar reforestaciones con especies autóctonas que optimicen la captura de carbono.

Por otra parte, a través de la implementación de ecuaciones alométricas y análisis estadísticos, se corroboró que ambas especies presentan un notable potencial de captura de carbono. Sin embargo, los resultados demostraron que *Tectona grandis* superó a *Guazuma ulmifolia*, al registrar una biomasa promedio de 57,57 kg frente a 24,89 kg respectivamente. En términos de captura de carbono, los 30 individuos seleccionados de *Tectona grandis* generaron 0,86 t de C (3,17 t de CO₂), mientras que *Guazuma ulmifolia* alcanzó 0,37 t de C (1,37 t de CO₂). Considerando la densidad típica de plantación, los 625 individuos de *Tectona grandis* arrojó una captura de carbono de 17,99 t/ha (66,03 CO₂ t/ha), superiores a los 1 111 individuos de *Guazuma ulmifolia* que obtuvo 13,83 C t/ha (50,75 CO₂ t/ha).

La propuesta del plan de reforestación en la empresa de servicios ambientales, fundamentada en el análisis de la captación de carbono de las especies *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*, demostró su efectividad en la compensación de la huella de carbono. También se reconocieron otras especies con un alto potencial para la captación de carbono, tales como el Guayacán (*Tabebuia chrysantha*), el Cebil (*Anadenanthera colubrina*), el Palo Santo (*Bursera graveolens*) y el Madero Negro (*Gliricidia sepium*), entre otras.

Estas especies se sugieren en la propuesta de reforestación por tener alta densidad maderera, un crecimiento rápido y una adaptabilidad en suelos deteriorados y la optimización de la captura de carbono en regiones afectadas, ofreciendo la diversificación de los servicios ecosistémicos y representando una estrategia alternativa en contra del cambio climático.

Recomendaciones

Elegir el área de investigación llevar a cabo una inspección preliminar para identificar las especies presentes y evaluar las condiciones topográficas que podrían afectar la recolección de datos. Adicionalmente, se aconseja la utilización de instrumentos tecnológicos que se asemejen a instrumentos de medición, tal como la aplicación GLOBE OBSERVER TREES, que ha demostrado ser eficaz en gran parte de las mediciones realizadas. No obstante, es importante tener en cuenta que esta herramienta demanda un espacio apropiado para asegurar la exactitud en la recolección de datos.

Al momento de ir a campo se debe contar con las herramientas necesarias para la toma de muestras, como clinómetros, aplicaciones que ayuden a la toma de medidas y cinta métrica, y asegurar un equipo técnico capacitado al momento que se tome medidas en el campo.

Para poder realizar una comparación de la capacidad de captura de carbono entre especies, es importante elegir ecuaciones alométricas diseñadas para cada especie. Estas ecuaciones deben tener en cuenta las variables morfológicas, dado que estas pueden presentar variaciones entre especies y comprometer la exactitud de los resultados obtenidos.

Se debe llevar a cabo más investigaciones sobre la especie *Guazuma ulmifolia*, dado que, a pesar de su aporte a la biodiversidad, frecuentemente es subestimada en los estudios ambientales. Profundizar en el análisis de esta especie y su contribución al ecosistema podría proporcionar información valiosa para su inclusión en estrategias de conservación y reforestación. Se busca que esta información puede ser utilizada en entidades educativas, promoviendo su aplicación en programas académicos y proyectos de educación ambiental que fomenten la sostenibilidad y la preservación de especies autóctonas.

Se recomienda que en futuras investigaciones se realicen mediciones de biomasa en periodos de época húmeda y seca, con el fin de determinar posibles variaciones en la captura de carbono de las especies estudiadas. Este análisis permitiría identificar con mayor precisión la influencia de factores estacionales en el crecimiento y desarrollo de los árboles.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A. (2020). *Determinación del ratio de capacidad de almacenamiento de CO₂ del Guayacán (Tabebuia chrysantha) ubicado en la ciudad de Guayaquil, Ecuador [Tesis de tercer nivel, Universidad de Guayaquil]*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53417>
- Aguirre, Z. (2012). *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador*. Guía para su identificación y caracterización.
- Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., . . . Villarreal, H. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 236. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Benavides Solorio, J., Torres García, O., Flores Garnica, J. G., Acosta Mireles, M., y Rueda Sánchez, A. (2021). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono aéreos de Cedrela odorata L. en plantaciones forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65), 89-111. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.791>
- Bonilla, F., Monrós, J.-S., y Sasa, M. (2022). Bases conceptuales para la compensación ambiental bajo el enfoque ecológico. *Revista de Biología Tropical*, 70(1), 1-20. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.2022.52281>
- Bonilla, N. (2017). Plantaciones industriales del árbol de teca en Ecuador: ocupando y devastando tierras fértiles y fuentes de agua. *Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales*. Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales: <https://www.wrm.org.uy/es/articulos-del-boletin/plantaciones-industriales-del-arbol-de-teca-en-ecuador-ocupando-y-devastando-tierras-fertiles-y>
- Bravo Calle, O. E., Osorio Rivera, M. A., y Loor Lalvay, X. A. (2021). La calidad del desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Polo del Conocimiento*, 6(58), 154-164. Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094540>
- Bravo, P., y Salgado, F. (2019). *Introducción a R y SIG*. Universidad del Azuay: https://bookdown.org/chescosalgado/intro_r/#refmat

- Cabudivo, C. C. (2017). *Secuestro de CO₂ y producción de oxígeno en árboles urbanos de la Av. Abelardo Quiñones-Distrito San Juan Bautista, Loreto-Perú [Tesis de tercer nivel, Universidad Nacional De La Amazonía Peruana]*.
https://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4694/Kelvin_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Calderón Enamorado, L. D. (2023). Análisis del cambio en la cobertura boscosa enfocado en la descarbonización como propuesta de reforestación en Atlántida, Honduras. *INNOVARE*, 12(1-1), 3-9.
<https://doi.org/10.5377/innovare.v12i1-1.16008>
- Carrera, M. (2012). *Estudio técnico y financiero para el establecimiento de una plantación de teca (Tectona grandis) en Guayaquil, Ecuador*. Escuela Agrícola Panamericana:
<https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5702>
- Castillo Ruperti, R. J., Bello Pinargote, V. E., Llor Barrezuela, Y. S., y Ayón Hidalgo, C. C. (2022). Captura de carbono del arbolado de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, 1-18.
<https://doi.org/https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e262>
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., . . . Fearnside, P. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20(10), 3177-3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chávez Suazo, J. P. (2018). *Captura y almacenamiento de carbono de los bosques estacionalmente secos de la costa norte (Lambayeque), como mitigación frente al cambio climático. [Tesis de tercer nivel, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. Universidad Nacional Agraria La Molina:
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/3346>
- Chazdon, R. (2008). Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. 320, 1458-1460.
<https://doi.org/10.1126/science.1155365>
- Código Orgánico del Ambiente. (12 de abril del 2017). *Registro Oficial Suplemento 983*. Ecuador.

- Comisión Europea. (2021). *Causas del cambio climático*.
https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_es
- Conservamos por Naturaleza. (s.f.). *Bosques secos: una ecorregión que renace*.
<https://www.conservamospornaturaleza.org/>
- Constitución de la República del Ecuador [Const]. (20 de octubre del 2008).
Registro Oficial No. 449. Ecuador.
- Cornejo, X. (2015). Las especies emblemáticas de flora y fauna de la ciudad de Guayaquil y de la provincia del Guayas, Ecuador. 2(9), 56-71.
<https://doi.org/10.53591/cna.v9i2.239>
- Coveña Sarmiento, O. J. (2023). *Comparación de la captura de carbono de dos especies arbórea en el cantón Milagro, 2022 [Tesis de tercer nivel, Universidad Agraria del Ecuador]*. Universidad Agraria del Ecuador:
<https://cia.uagraría.edu.ec/Archivos/COVE%C3%91A%20SARMIENTO%20ORLIS%20JOHAN.pdf>
- Echeverría, A., Pachacama, R., Villaverde, Y., y Proaño, N. (2018). Cálculo de biomasa aérea y carbono capturado de la reserva Yanacocha a través de imágenes satelitales. *GEOESPACIAL*, 15(1), 33-44. GEOESPACIAL.
- El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*.
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf
- Fonseca, W. (2004). *Manual para productores de teca (Tectona grandis L.f) en Costa Rica*. Heredia, Costa:
<https://www.fonafifo.go.cr/media/1332/manual-para-productores-de-teca.pdf>
- Francis, J., y Lowe, C. (2000). *Bioecología de los árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias occidentales*. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.
- Fundación Aquae. (2022). *Los bosques, solución contra las emisiones de carbono*.
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/los-bosques-solucion-contra-las-emisiones-de-carbono/>
- Ganchozo Dávila, G., y Solórzano Zambrano, A. (2022). *Captura de carbono como criterio para la conservación de la caoba (Swietenia macrophylla)*

en el campus Politécnico de la ESPAM-MFL [Tesis de tercer nivel, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López:

https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1944/1/TIC_IA34D

Garay, D., y Castañeda, L. (2024). *Estudio fitoquímico biodirigido de la actividad antihelmíntica de extractos vegetales de hojas de Guazuma ulmifolia sobre huevos de parásitos de la subfamilia Cyathostominae en equinos*[Tesis de tercer nivel, Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas. Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas : <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/5802>

García García, D. A., Jiménez Pérez, J., Yarena Yamallel, J. I., Aguirre Calderón, Ó. A., y Alanís Rodríguez, E. (2019). Evaluación de carbono almacenado en una plantación de teca (*Tectona grandis* L. f.) en Tizimín, Yucatán, México. 22(97), 38-42. <https://doi.org/10.29105/cienciauanl22.97-2>

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nobol. (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Nobol*. https://www.nobol.gob.ec/web/rendiciondecuentas2021/PDOT_Nobol_2020-2027

Gobierno de Aragón y Navarra. (2014). *Proyecto Miga Muga*. https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/3E914E09-4F40-48CE-87CB-4F98D23D0501/390736/Estudiodeimpactoambiental_partel.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2021). *Informe sobre el clima*. IPCC. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf

Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático. (2003). *Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kioto*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf/spanish/ch4.pdf>

IDEAM. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. <http://ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases%2Bde%2BEfecto%2BInvernadero%2BBy%2Bel%2BCambio%2BClimatico.pdf>

- INEC. (2022). Densidad poblacional por parroquias. <https://www.censoecuador.gob.ec>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2022). Climatología de Ecuador. <https://www.inamhi.gob.ec>
- IPCC . (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *Agriculture, Forestry and Other Land Use.*, 4.
- Jiménez Ruíz, E., Fonseca González, W., y Pazmiño Pesantez, L. (2019). Sistema silvopastoriles y cambio climático: estimación y precicción de biomasa arbórea. *Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 45-55. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.04>
- Jiménez, A., y Peralta, M. (2019). *Carbono secuestrado en los árboles de dos parques de la ciudad de Cuenca [Tesis de tercer nivel, Universidad del Azuay]*. Repositorio Institucional: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9568>
- Jiménez, J., Telles, R., Alanís, R., José, Y., García, D., y Gómez, M. (2020). Estimación del carbono almacenado en una plantación de *Tectona grandis* L. f. mediante ecuaciones alométricas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(57), 32-56. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i57.550>
- Komiyama, A., Pongpan, S., y Shogo, K. (2005). *Common Allometric Equations for Estimating the Tree Weight of Mangroves*. *Journal of Tropical Ecology*: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/abs/common-allometric-equations-for-estimating-the-tree-weight-of-mangroves/6067C26CECE5B0EF18A319B8DB89B771>
- Lozano, P. (2019). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Pelileo - Baños: Inventario Forestal*. Ministerio de Transporte y Obras Públicas: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/EIA_Pelileo-Banos_Inventario_Forestal.pdf
- Ludeña, C., y Wilk, D. (2013). Ecuador: Mitigación y adaptación al cambio climático. *Banco Internacional de Desarrollo*, 1-23. <https://doi.org/10.18235/0010065>
- Luna Florín, A. D., Sánchez Asanza, A. W., Maza Maza, J. E., y Castillo Figueroa, J. E. (2021). Biomasa forestal y captura de carbono en el bosque seco de

- la Reserva Ecológica Arenillas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 140–146. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/480>
- Maldonado, J. N. (2023). *Estimación de captura de carbono de la especie palo prieto (Erythrina fusca) en el área Nacional de Recreación Isla Santay, 2023 [Tesis de tercer nivel, Universidad Agraria del Ecuador]*. Universidad Agraria del Ecuador: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MALDONADO%20BURBANO%20JEMIMA%20NOEMI.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica . (2019). *Proyecto Socio Bosque*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/12.SOCIO_BOSQUE.pdf
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2021). *Programa nacional de Reforestación con fines de conservación ambiental, protección de cuencas hidrográficas y beneficios alternos*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/9.REFORESTACION.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora*. España. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
- Montes de Oca , E., Salvador-García, Á., Nájera Luna, J. A., Corral Rivas, S., y Méndez González, J. (2020). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Trichospermum mexicanum* (DC.) Baill. *Colombia Forestal*, 23(2), 89-98. <https://doi.org/10.14483/2256201x.15836>
- Muñoz Menéndez, M. B., Santos Herrero, R., y Cárdenas Ferrer, T. M. (2019). Residuos sólidos urbanos en la ciudad del Carmen, Manabí, Ecuador. Análisis del Sistema de Gestión. *Dominio de las Ciencias*, 5, 702-713. Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7343795>
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Kyoto.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago.

- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago.
- NASA. (2024). *What is GLOBE Trees? Taking Tree Observations*: <https://www.nasa.gov/stem-content/taking-tree-observations/>
- Ordóñez Ruiz, K. M., y Ordóñez Sánchez, L. A. (2022). Almacenamiento de biomasa y carbono en huertas urbanas de Yantaló, Perú. *Revista Amazonía de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 1(2), 1-9. <https://doi.org/10.51252/reacae.v1i2.352>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1998). *La teca: una visión global*. <https://www.fao.org/4/x4565S/x4565s03.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). *Especies arbóreas*. <https://www.fao.org/forestry/es/>
- Organización Internacional de las Madera Tropicales. (2012). *Captura de carbono*. https://www.itto.int/es/climate_change/carbon_sequestration/
- Organización Naciones Unidas. (2023). *Día Internacional de Cero Desechos: La ONU aboga por el cambio hacia una economía circular*. Cambio climático y medioambiente: <https://news.un.org/es/story/2023/03/1519822>
- Paricahua Choque, M. (2021). Cambio climático y desarrollo sostenible. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 1(1), 82-90. <https://idicap.com/ojs/index.php/ogmios/article/view/5/15>
- Parlamento Europeo. (2023). Cambio climático: gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230316STO77629/cambio-climatico-gases-de-efecto-invernadero-que-causan-el-calentamiento-global>
- Pazmiño, L., y Pinargote, M. (2018). *Evaluación de la captura de carbono como criterio para la conservación del Ceibo (Ceiba trichistandra) del Jardín botánico de la UTM [Tesis de tercer nivel, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]*. <https://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/842>
- Peralta Vásquez, M. A. (2022). *Estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque montano Los Lanches, Chota – Perú [Tesis de*

- grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota*]. UNACH-Institucional:
<https://hdl.handle.net/20.500.14142/199>
- Picard, N., Saint-André, L., y Henry, M. (2012). Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction. *Food and Agricultural Organization of the United Nations*.
www.fao.org/4/i3058e/i3058e
- Posada, G. (2016). *Elementos básicos de estadística descriptiva para el análisis de datos [recurso electrónico]*. Fundación Universitaria Luis Amigó.
https://www.funlam.edu.co/uploads/fondoeditorial/120_Ebookelementos_
- Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. (2012). *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización*. Ecuador.
https://enf.ambiente.gob.ec/web_enf/documentos/especiesForestalesBosqueSeco.pdf
- Ramírez Huila, W., Ramos Rodríguez, M., Yépez Delgado, C., Belezaca Pinargote, C., y Rodríguez Leyva, O. (2023). Análisis estructural y condiciones abióticas del bosque seco tropical (Bs-T) del sector La Pila Vieja en el valle Sancán, Manabí, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 1(16), 52-59. <https://doi.org/10.18779/cyt.v16i1.635>
- Ramírez López, J. L., y Chagna Avila, E. J. (2019). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus grandis* W. Hill. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(1), 85-97.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6796575>
- Rodríguez, A. (2020). ¿Qué es la Biomasa y cómo funciona? CALORYFRIO:
<https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/que-es-la-biomasa-y-como-funciona.html>
- Rodríguez, B., Sánchez, J., y Villareal, D. (2015). Dinámica de los servicios ambientales de los bosques secos deciduos del Ecuador. *Revista: Dominio de las Ciencias*, 1(1), 62-74.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5761663>
- Romero Placeres, M., Diego Olite, F., y Alvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), 1-14. Scielo:

- http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1561-30032006000200008&script=sci_arttext#cargo
- Rubio, M. J., y Berlanga, V. (2012). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. *Revista REIRE*, 5(2), 83-100. <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2527>
- Ruiz Blandon, B. A., Hernández Álvarez, E., Salcedo Pérez, E., Rodríguez Macías, R., Gallegos Rodríguez, A., Valdés Velarde, E., y Sánchez Hernández, R. (2019). Almacenamiento de carbono y caracterización lignocelulósica de plantaciones comerciales de *Tectonagrandis* L.f. en México. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 22(2), 15-29. <https://doi.org/10.14483/2256201X.13874>
- Rustom, A. (2012). *Estadística Descriptiva, Probabilidad e Inferencia*. Universidad de Chile. <http://www.agren.cl/estadistica>
- Salgado Mora, M. G. (2018). Captura de carbono en biomasa aérea de árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en el Soconusco Chiapas, México. *Agro Productividad*, 11(2), 120-126. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/136>
- Salvador, P., Cámara, L. d., Martínez, J., Sánchez, R., y Valdés, E. (2019). Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. *Madera Y Bosques*, 25(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511638>
- Santiago, L. (2018). *Estimación del potencial de captura de carbono (C) del bosque de manglar de Tumilco de Tuxpan, Veracruz, México*. Universidad Veracruzana: <https://www.uv.mx/pozarica/mmemc/files/2020/02/LuisAlbertoSantiagoMolina.pdf>
- Sarango Gonzalez, F. A., y Tenempaguay Guncay, W. S. (2020). *Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea, necromasa (hojarasca) y en el suelo en un bosque de pino en la comuna Paquizhapa (provincia de Loja) [Tesis de tercer nivel, Universidad Politécnica Salesiana]*. Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19153>
- Segovia, M. (2019). *Cuantificación de carbono azul en la zona de custodia de manglares de la asociación 21 de mayo en Puerto Roma, Golfo de*

- Guayaquil. Universidad de Guayaquil:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/44693/1/TESIS%20FINAL%20ODE%20SEGOVIA%20VERA.pdf>
- Servicios Ambientales S.A. (2017). *Huella de ciudades N° 6 ciudad de Guayaquil*. Sciotea:
<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1663/Huellas%20de%20Ciudades-Ciudad%20de%20Guayaquil.pdf?sequence=44&isAllowed=y>
- Sierra, R., Calva, O., y Guevara, A. (2021). *La deforestación en el Ecuador 1990-2018: Factores, promotores y tendencias recientes*. Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador: https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/06/Deforestacio%CC%81n_Ecuador_com2.pdf
- Siqueria, L., Tedesco, A., y Rodrigues, R. (2021). Engaging People for Large-Scale Forest Restoration: Governance Lessons from the Atlantic Forest of Brazil. *The Atlantic Forest*. Springer, 389-402. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_18
- Solíz, M. (2020). *Cartografía de los residuos sólidos en Ecuador*. Universidad Andina Simón Bolívar. <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Cartograf%C3%ADa-residuos-s%C3%B3lidos-Ecuador-2020.pdf>
- Tobías Baeza, A., Salvador Morales, P., Sánchez Hernández, R., Ruiz Acosta, S., Arrieta Rivera, A., y Andrade Prado, H. (2019). Composición florística y carbono en la vegetación arbórea de un área periurbana en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(17), 369-376. <https://ri.ujat.mx/handle/20.500.12107/3175>
- Ugalde, L. (1981). *Conceptos básicos de dasometría*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE]: https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/886/Conceptos_basicos_de_dasometria.pdf?sequence=1
- Valdivia Vergaray, G. S. (2021). *Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa aérea como una herramienta para la conservación del bosque seco El Cañoncillo, Pacasmayo, La Libertad [Tesis de tercer nivel, Universidad Científica del Sur]*. Universidad Científica del Sur: <https://hdl.handle.net/20.500.12805/2180>

- Vega Aguilar, S. A., Malla Ceferino, C. C., y Bejarano Copo, H. F. (2020). Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 72-76. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/388>
- Yáñez Sandoval, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta ecológica*(70), 5-18.
- Zeballos, M., y López, L. (2023). *Diagnóstico turístico de Nobol en la provincia del Guayas: impulsando el turismo fluvial como fuente turística sustentable*. Tecnológico Espíritu Santo . <https://liveworkingeditorial.com/product/diagnostico-turistico-denobol/>
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., y Mencuccini, M. (2005). Ecuaciones de biomasa y volumen del fuste de especies arbóreas en Europa. *Silva Fennica Monographs*, 4(4), 1-63. <https://doi.org/10.14214/sf.sfm4>

ANEXOS

Anexo N° 1:

Delimitación con la zona de estudio.



Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 3:

***Toma de coordenadas de especie
Guazuma ulmifolia.***



Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 4:

Identificación de especie Tectona



Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 2:

***Toma de coordenadas de especie
Tectona grandis.***



Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 5:
Coordenadas UTM de *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*.

N°	<i>Tectona grandis</i>		<i>Guazuma ulmifolia</i>	
	X	Y	X	Y
1	608442	9780569	608595	9780669
2	608443	9780571	608593	9780671
3	608448	9780570	608581	9780660
4	608439	9780582	608580	9780644
5	608433	9780573	608578	9780647
6	608423	9780587	608571	9780651
7	608443	9780585	608581	9780636
8	608463	9780603	608578	9780641
9	608468	9780591	608569	9780679
10	608470	9780596	608574	9780677
11	608474	9780736	608563	9780683
12	608429	9780747	608559	9780672
13	608445	9780745	608550	9780685
14	608424	9780755	608503	9780705
15	608398	9780713	608504	9780703
16	608411	9780715	608488	9780705
17	608405	9780697	608475	9780724
18	608397	9780711	608439	9780742
19	608428	9780714	608456	9780723
20	608390	9780702	606922	9790799
21	608311	9780880	608423	9780763
22	608303	9780897	608421	9780778
23	608202	9780957	608441	9780764
24	608208	9780933	608379	9780827
25	608214	9780931	608376	9780830

26	608179	9780975	608371	9780831
27	608170	9780972	608368	9780832
28	608110	9781019	608373	9780822
29	608118	9780993	608346	9780865
30	608110	9781002	608335	9780864
31			608338	9780862
32			608334	9780870
33			608318	9780880
34			608335	9780875

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 6:

Parámetros dasométricos Tectona grandis y Guazuma ulmifolia.

Individuos	Especies					
	<i>Tectona grandis</i>			<i>Guazuma ulmifolia</i>		
	CAP (m)	DAP (m)	ALTURA (m)	CAP (m)	DAP (m)	ALTURA (m)
1	0,92	0,29	15,44	0,28	0,09	5,59
2	0,8	0,25	14,06	0,34	0,12	6,29
3	0,66	0,21	19,11	0,24	0,08	10,25
4	0,7	0,22	17,67	0,38	0,09	5,58
5	0,81	0,26	16,32	0,26	0,09	7,11
6	0,77	0,25	15,55	0,28	0,13	6,32
7	0,64	0,20	25,01	0,45	0,09	6,4
8	0,73	0,23	19,61	0,34	0,14	8,84
9	0,91	0,29	16,51	0,27	0,11	8,62
10	0,79	0,25	22,37	0,45	0,06	10,28
11	0,93	0,30	17,03	0,33	0,04	3,32
12	0,75	0,24	14,08	0,18	0,04	2,22
13	0,7	0,22	16,22	0,19	0,06	5,67
14	0,69	0,22	13,31	0,20	0,06	8,21
15	0,63	0,20	15,85	0,16	0,05	4,59

16	0,56	0,18	15,2	0,27	0,10	7,62
17	0,7	0,22	17,02	0,22	0,08	6,31
18	0,68	0,22	16,19	0,29	0,10	8,72
19	0,8	0,25	15,98	0,21	0,07	7,11
20	0,65	0,21	15,66	0,29	0,09	7,64
21	0,84	0,27	22,78	0,10	0,03	5,48
22	0,87	0,28	16,62	0,24	0,08	4,62
23	0,83	0,26	15,38	0,15	0,06	4,2
24	0,7	0,22	17,89	0,31	0,10	7,32
25	0,57	0,18	16,94	0,19	0,08	5,74
26	0,67	0,21	21,25	0,24	0,08	6,78
27	0,86	0,27	23,29	0,27	0,09	8,52
28	0,7	0,22	17,67	0,32	0,11	7,33
29	0,6	0,19	23,01	0,28	0,13	8,3
30	0,71	0,23	14,65	0,23	0,08	6,54

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 7:

Valores de área basal y volumen de las especies estudiadas.

Individuos	Especies			
	<i>Tectona grandis</i>		<i>Guazuma ulmifolia</i>	
	ÁREA BASAL (m2)	VOLUMEN (m3)	ÁREA BASAL (m2)	VOLUMEN (m3)
1	0,067	0,521	0,006	0,017
2	0,051	0,358	0,009	0,029
3	0,035	0,331	0,004	0,021
4	0,039	0,345	0,012	0,042
5	0,052	0,426	0,006	0,015
6	0,047	0,367	0,006	0,023
7	0,033	0,408	0,016	0,096
8	0,042	0,416	0,009	0,029
9	0,066	0,544	0,006	0,018
10	0,050	0,555	0,016	0,071

11	0,069	0,586	0,009	0,037
12	0,045	0,315	0,002	0,013
13	0,039	0,316	0,003	0,008
14	0,038	0,252	0,003	0,013
15	0,032	0,250	0,002	0,005
16	0,025	0,190	0,006	0,021
17	0,039	0,332	0,004	0,012
18	0,037	0,298	0,007	0,029
19	0,051	0,407	0,003	0,012
20	0,034	0,263	0,006	0,025
21	0,056	0,640	0,001	0,002
22	0,060	0,501	0,004	0,010
23	0,055	0,422	0,002	0,004
24	0,039	0,349	0,007	0,027
25	0,026	0,219	0,003	0,009
26	0,036	0,380	0,004	0,015
27	0,059	0,685	0,006	0,024
28	0,039	0,345	0,008	0,031
29	0,029	0,330	0,006	0,025
30	0,040	0,294	0,004	0,013

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 8:

Valores de biomasa *Tectona grandis* y *Guazuma ulmifolia*.

Individuos	Especies	
	<i>Tectona grandis</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>
	Biomasa (Kg)	Biomasa (Kg)
1	76,04	25,02
2	63,52	38,75
3	49,63	18,12
4	53,52	48,38
5	64,54	22,56
6	60,48	26,12

7	47,71	68,80
8	56,48	38,52
9	74,93	23,42
10	62,50	67,45
11	77,05	35,98
12	58,48	9,58
13	53,52	11,40
14	52,55	12,43
15	46,76	7,92
16	40,20	22,94
17	53,52	14,86
18	51,57	26,97
19	63,52	13,52
20	48,67	26,60
21	67,62	3,06
22	70,74	17,89
23	66,59	7,01
24	53,52	30,65
25	41,13	11,82
26	50,60	17,86
27	69,69	22,89
28	53,52	34,83
29	43,92	25,01
30	54,51	16,40

Elaborado por: La Autora, 2025