



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo  
a la obtención del título de Ingeniero Forestal**

**CARBONO AÉREO ALMACENADO EN UN BOSQUE NATIVO DE *Oreopanax  
ecuadorensis* Seem EN SAN FRANCISCO DE CHORLAVI, PARROQUIA  
CARANQUI, PROVINCIA DE IMBABURA.**

### **AUTOR**

Diego Xavier Carlosama Montenegro

### **DIRECTOR**

Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila. Mgs.

**IBARRA – ECUADOR**

2021

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

“CARBONO AÉREO ALMACENADO EN UN BOSQUE NATIVO DE *Oreopanax  
ecuadorensis* Seem EN SAN FRANCISCO DE CHORLAVI, PARROQUIA  
CARANQUI, PROVINCIA DE IMBABURA”

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación  
como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

**APROBADO**

Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.

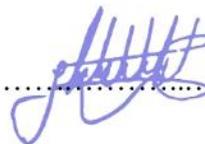
**Director de trabajo de titulación**



.....  
Mgs. Eduardo Jaime Chagna Avila  
DIRECTOR DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro Mgs.

**Tribunal de trabajo de titulación**



.....

Ing. Jorge Luis Ramírez López M.Sc.

**Tribunal de trabajo de titulación**



.....

Ibarra - Ecuador

2021

II



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003495205		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Carlosama Montenegro Diego Xavier		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Av. Jorge Guzmán Rueda y Marco Tulio Nieto, Los Laureles		
<b>EMAIL:</b>	dxcarlosamam@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0987653945

DATOS DE CONTACTO	
<b>TÍTULO:</b>	CARBONO AÉREO ALMACENADO EN UN BOSQUE NATIVO DE <i>Oreopanax ecuadorensis</i> Seem EN SAN

	FRANCISCO DE CHORLAVI, PARROQUIA CARANQUI, PROVINCIA DE IMBABURA.
<b>AUTOR (ES):</b>	Carlosama Montenegro Diego Xavier
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	13 de enero del 2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	Pregrado
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Forestal
<b>ASESORES /DIRECTOR:</b>	Ing. Jorge Luis Ramírez López M.Sc. Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro Mgs. Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.

## 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días del mes de enero del 2021

### EL AUTOR:



Diego Xavier Carlosama Montenegro

Ibarra, a los 13 días de enero del 2021

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA - UTN

**Fecha:** 13 de enero del 2021

Diego Xavier Carlosama Montenegro: **“CARBONO AÉREO ALMACENADO EN UN BOSQUE NATIVO DE *Oreopanax ecuadorensis* Seem EN SAN FRANCISCO DE CHORLAVI, PARROQUIA CARANQUI, PROVINCIA DE IMBABURA”**  
/Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 13 de enero del 2021. 71 páginas.

**DIRECTOR:** Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar la biomasa aérea y el contenido de carbono secuestrado en el bosque nativo de Pumamaqui  
Entre los objetivos específicos se encuentra: Construir una ecuación alométrica para la estimación de biomasa aérea y carbono secuestrado en un bosque nativo de Pumamaqui *Oreopanax ecuadorensis* Seem. Así como también publicar la información adquirida, con el fin de contribuir en el ámbito científico e investigativo.

**Fecha:** 13 de enero del 2021



DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.

**Director de trabajo de titulación**



Diego Xavier Carlosama Montenegro

**Autor**

## **AGRADECIMIENTO**

*Gracias a Dios por permitirme tener esta oportunidad, y por darme la fuerza necesaria para nunca rendirme ante ninguna circunstancia.*

*Gracias a mi familia por el apoyo incondicional recibido, además por haberme forjado como la persona que soy actualmente.*

*A los miembros del tribunal por su paciencia y apoyo en cada dificultad que tuve, también por el aporte brindado en cada acontecimiento presentado en la investigación, un agradecimiento especial al Ingeniero Eduardo Jaime Chagna Avila como Director por su amistad y soporte desde semestres anteriores en la carrera.*

*A la institución por haber impartido conocimientos fundamentales en mi formación profesional.*

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de tesis se lo dedico a mi madre Clara Montenegro, quien fue mi principal motivación para esforzarme cada día. A mi hermano Patricio Carlosama que me apoyó en cada situación difícil, además de ser ejemplo a seguir para él, enseñándole que no hay absolutamente ninguna otra forma de triunfar en la vida si no es por el constante esfuerzo.*

## LISTA DE SIGLAS

**MAE.** Ministerio del Ambiente del Ecuador.

**IPCC.** Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

**GEI.** Gases de Efecto Invernadero.

**CH<sub>4</sub>.** Metano

**N<sub>2</sub>O.** Óxido nitroso

**SF<sub>6</sub>.** Hexafluoruro de azufre

**PFC.** Perfluorocarburos

**WWF.** World Wildlife Fund

**NOAA.** Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. (National Oceanic and Atmospheric Administration)

**FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.

**ONU.** Organización de las Naciones Unidas

**UTN.** Universidad Técnica del Norte

**CIIFEN.** Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño

**DAP.** Diámetro a la altura del pecho

**HT.** Altura Total

**HC.** Altura comercial

**$\bar{X}$ :** Medias

**S:** Desviación estándar

**SX:** Error estándar

**CV:** Coeficiente de variación

## INDICE DE CONTENIDOS

	<b>Págs.</b>
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.1.1 General .....	2
1.1.2 Específicos .....	2
1.2 Preguntas directas .....	2
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO .....	3
2.1 Fundamentación legal .....	3
2.1.1 Constitución de la República del Ecuador .....	3
2.1.2 Código Orgánico de Ambiente (CODA).....	3
2.1.3 Plan Nacional de Desarrollo 2017- 2021 .....	5
2.1.4 Plan Nacional REDD+ .....	5
2.1.5 Línea de investigación.....	6
2.1.6 Código de ética.....	6
2.2 Fundamentación teórica.....	6
2.2.1 Cambio climático .....	6
2.1.1.1 Gases de efecto invernadero .....	7
2.1.1.2 Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador (ENCC) 2012-2025 .....	8
2.2.2 Carbono .....	9
2.2.2.1 Ciclo del carbono.....	9
2.2.2.1 Métodos para estimar el carbono .....	10

2.2.2.3 Bonos de carbono .....	11
2.2.3 Biomasa .....	12
2.2.4 Ecuaciones alométricas .....	12
2.2.5 Bosque alto andino .....	12
2.2.6 Descripción de <i>Oreopanax ecuadorensis</i> Seem .....	13
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>14</b>
3.1 Ubicación del sitio de estudio .....	14
3.1.2 Datos climáticos .....	15
3.2 Materiales, equipos y Software .....	16
3.2.1 Materiales .....	16
3. 2.2. Equipos.....	17
3.2.3 Software .....	17
3.3 Metodología.....	17
3.3.1 Delimitación del área de estudio .....	17
3.3.2 Instalación de parcelas .....	17
3.3.3Medición de las variables .....	18
3.3.4 Determinación de la biomasa arbórea .....	20
3.3.4.1 Selección y estimación de biomasa de individuos muestreados .....	20
a) Área basal .....	20
b) Volumen del fuste .....	20
3.3.5 Determinación de densidad de la muestra del fuste .....	21
3.3.5.1 Densidad del fuste .....	21
3.3.6 Cálculo de la biomasa arbórea.....	22
3.3.6.1 Biomasa del fuste .....	22

3.3.6.2 Biomasa de ramas y hojas .....	23
a) Número de ramas.....	23
b) Número de hojas .....	23
3.3.6.3 Biomasa total del árbol.....	24
3.3.7 Construcción de modelos alométricos.....	24
3.3.7.1 Determinación de Carbono.....	26
3.3.8 Proceso de gestión de venta de carbono.....	26
3.3.8.1 Pasos a seguir .....	26
3.3.8.2 Factibilidad de ingreso al mercado.....	27
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>28</b>
4.1 Delimitación de área.....	28
4.2 Inventario realizado.....	28
4.3 Biomasa aérea del componente arbóreo.....	29
4.4 Densidad de la especie .....	30
4.5. Modelos alométricos .....	30
a) Representación gráfica de valores de biomasa observada vs predicha.....	31
4.6 Carbono total.....	32
4.7 Pasos a seguir para el ingreso a la venta de bonos de carbono .....	33
4.7.1 Mercado de carbono .....	33
4.7.1.1 Nota de idea de proyecto.....	33
4.7.1.2 Documento de diseño del proyecto .....	34
4.7.1.3 Validación .....	34
4.7.1.4 Registro .....	35
4.7.1.5 Negociación del contrato.....	35

4.7.1.6 Implementación y monitoreo .....	35
4.7.1.7 Verificación y certificación.....	35
4.7.1.8 Emisión de CER.....	36
4.7.1.9 Carta de aval gubernamental .....	36
4.7.2 Factibilidad de ingreso al mercado.....	37
4.7.2.1 Análisis de requerimientos legales y datos .....	37
4.7.2.2 Propuesta planteada.....	37
4.7.2.1 Dinero que se podría obtener .....	39
<b>CAPÍTULO V</b>	
5.1 CONCLUSIONES .....	40
5.2 RECOMENDACIONES .....	40
6. BIBLIOGRAFÍA.....	41
7. ANEXOS.....	51
7.1 Anexo A - Tabla.....	51
7.2 Anexo B – CARTA DE AVAL GUBERNAMENTAL.....	52
7.3 Anexo C – Figuras.....	53

**TITULO: CARBONO AÉREO ALMACENADO EN UN BOSQUE NATIVO DE  
*Oreopanax ecuadorensis* Seem EN SAN FRANCISCO DE CHORLAVI, PARROQUIA  
CARANQUI, PROVINCIA DE IMBABURA**

**Autor:** Diego Xavier Carlosama Montenegro

**Director de trabajo de titulación:** Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila Mgs.

**Año:** 2021

**RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivo la construcción de modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea y carbono aéreo almacenado en un bosque nativo de *Oreopanax ecuadorensis* Seem. La investigación se dividió en dos etapas, la primera fue la recolección de muestras del fuste, ramas y hojas, mientras que en la segunda etapa fue en el laboratorio de Biotecnología Aplicada de la Universidad Técnica del Norte. Para la estimación de biomasa aérea se recurrió a la evaluación nacional forestal (ENF) como punto de partida para la metodología. El bosque nativo tuvo una cantidad de carbono almacenada de 0.22 Mg, este dato se obtuvo mediante ecuaciones alométricas realizadas en la investigación con el fin de brindar un instrumento simple y eficaz para realizar la estimación del carbono. La ecuación de mejor ajuste fue la que utilizó variables de DAP y HT, por ejemplo esta ecuación presentó un  $r^2$  de 0.94 y un RCME de 1.25, mediante  $B = -0.42 + (DAP^2 * HT * 215.65) + (HT * 1.49)$ . También se realizó una propuesta sobre la gestión de venta de bonos de carbono, con el fin de investigar los estándares establecidos por la Asociación Internacional de Comercio de Emisiones para su comercialización.

Estos datos indicaron que el bosque nativo aporta a la reducción de GEI en la zona de estudio, y que no es factible ingresar al mercado de venta de bonos de carbono debido a los requisitos establecidos.

**Palabras clave:** Bosque, modelos alométricos, carbono.

**TITLE: AERIAL CARBON STORED IN A FOREST NATIVE TO *Oreopanax  
ecuadorensis* Seem IN SAN FRANCISCO DE CHORLAVI, CARANQUI PARISH,  
IMBABURA PROVINCE**

**Author:** Diego Xavier Carlosama Montenegro

**Director of degree work:** Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila Mgs.

**Year:** 2020

**SUMMARY**

The present investigation had as objective the construction of allometric models for the estimation of aerial biomass and aerial carbon stored in a native forest of *Oreopanax ecuadorensis* Seem. The research was divided into two stages, the first was the collection of samples of the stem, branches and leaves, while the second stage was in the Laboratory of Applied Biotechnology of the Technical University of the North. For the estimation of aerial biomass, the National Forest Assessment (ENF) was used as a starting point for the methodology. The native forest had a quantity of carbon stored of 0.22 Mg, this data was obtained by means of allometric equations carried out in the investigation in order to provide a simple and effective instrument to carry out the carbon estimation. The best fit equation was the one that used DAP and HT variables, for example this equation presented an  $r^2$  of 0.94 and RCME of 1.25, using  $B = -0.42 + (DAP^2 * HT * 215.65) + (HT * 1.49)$ . A proposal was also made on the management of the sale of carbon credits, in order to investigate the standards established by the International Emissions Trading Association for their commercialization. These data indicated that the native forest contributes to the reduction of GHG in the study area, and that it is not feasible to enter the market for the sale of carbon credits due to the established requirements.

**Keywords:** Forest, allometric models, carbon.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El ecosistema del bosque nativo se caracteriza por tener árboles que se originan en el lugar, con diferentes edades y alturas variadas, los cuales se regeneran por sucesión natural. Este bosque mantiene su estructura original con escasa intervención humana (Forestal, s.f., pág. 1). Cuando estos bosques desaparecen el suelo sufre daños considerables debido a diferentes desastres climáticos, sumado a ello la pérdida de biodiversidad, ciclo de agua y la fertilidad. Por tanto, es necesario realizar estudios que permitan reconocer sus servicios eco sistémicos a través de la fijación y captura de carbono (Fundación Reforestemos [FR], 2015).

Lapeyre, Arevalo y Alegre (2004) indican que el carbono almacenado por los bosques primarios es superior con 485 toneladas de carbono por hectárea (tm C ha), mientras que en los bosques secundarios retiene 234 tm C ha, y los bosques descremados 62 tm C ha. Por lo tanto el bosque nativo brinda beneficios como sumidero de carbono y contribuye a mitigar el cambio climático; de esta manera la presente investigación aportará información para el manejo de bosques nativos. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2006)

En la parroquia de Caranqui su economía se basa en actividades agrícolas por lo que provoca un incremento en la deforestación (Vallejo R. , 2017, pág. 21). Además Estupiñán, Gómez, Barrantes, Limas (2009) indican que estas actividades generan compactación de suelo, erosión y su principal función que es la retención de agua se disminuye; es decir el avance de la frontera agrícola ocasiona efectos negativos para el almacenamiento de carbono.

La presente investigación servirá para mostrar la importancia de los bosques nativos y su conservación. En las responsabilidades del país con el programa Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) se aportará con datos de carbono y características ecológicas de la zona de investigación (Ministerio del Ambiente [MAE], 2016).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 General

- Estimar el contenido de carbono aéreo almacenado en un bosque nativo de *Oreopanax ecuadorensis* Seem

### 1.1.2 Específicos

- Construir una ecuación alométrica de mejor ajuste para la estimación de biomasa aérea de la especie.
- Gestionar la venta de bonos de carbono.

## 1.2 Preguntas directas

¿Es factible estimar la biomasa del bosque nativo de *Oreopanax ecuadorensis* Seem En base a ecuaciones alométricas?

¿Cuál es la capacidad de almacenamiento de carbono aéreo que tiene el componente forestal del bosque *Oreopanax ecuadorensis* Seem?

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Fundamentación legal**

##### **2.1.1 Constitución de la República del Ecuador**

Esta investigación se relaciona con el Art.- 14, el cual indica la necesidad de las personas de coexistir en un ambiente sano, ya que menciona el derecho de la población a permanecer en zonas donde la calidad ambiental y la sostenibilidad del buen vivir sea garantizado por parte del estado.

El Art.- 276 menciona acerca del régimen de desarrollo que tiene como objetivo recuperar y conservar la naturaleza manteniendo de esta manera un ambiente sano, fundamentalmente en la disposición del agua, aire y suelo.

Se relaciona el cambio climático con el Art.- 414 debido a que señala las medidas de mitigación orientándose en la limitación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la deforestación y la contaminación atmosférica (Constitución de la República del Ecuador [CPE], 2008).

##### **2.1.2 Código Orgánico de Ambiente (CODA)**

Algunos temas señalados por el CODA se relacionan con los objetivos de la investigación, entre estos se encuentra los siguientes artículos:

Art. 247.- Se refiere a establecer el marco legal e institucional para la planificación, articulación, coordinación y monitoreo de las políticas públicas orientadas a diseñar, gestionar y ejecutar a nivel local, regional y nacional, acciones de adaptación y mitigación del cambio climático de manera transversal, oportuna, eficaz, participativa, coordinada y articulada con los instrumentos internacionales ratificados por el Estado y al principio de la responsabilidad común pero diferenciada.

Art. 248.- Fines. Los fines del Estado en materia de cambio climático serán:

1. Prevenir y evitar la ocurrencia de los daños ambientales y con ello reducir los efectos del cambio climático;
2. Desarrollar programas de educación, investigación, innovación, desarrollo, desagregación y transferencia de tecnología sobre el cambio climático;
3. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos del cambio climático;
4. Regular y controlar las acciones y medidas para la adaptación y mitigación del cambio climático;
5. Coordinar, implementar y aplicar la política nacional sobre cambio climático, por parte de las instituciones del Estado y sus diferentes niveles de gobierno en el ámbito de sus competencias;
6. Impulsar el desarrollo sostenible en los modelos de gestión y planificación territorial a nivel local, regional y nacional;
7. Establecer mecanismos para la gestión de riesgos y desastres o emergencias ocasionadas por efectos del cambio climático;
8. Garantizar el acceso oportuno a la información necesaria para gestionar adecuadamente el riesgo a través de medidas de adaptación y mitigación;
9. Fomentar el uso y garantizar el acceso de energías renovables; y,
10. Las demás que se establezcan para el efecto

Art. 250.- De los instrumentos. La gestión del cambio climático se realizará conforme a la política y la Estrategia Nacional de Cambio Climático, y sus instrumentos que deberán ser dictados y actualizados por la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 251.- Mecanismos de coordinación y articulación. La Autoridad Ambiental Nacional coordinará con las entidades intersectoriales públicas priorizadas para el efecto, y todos los diferentes niveles de gobierno, la formulación e implementación de las políticas y objetivos ante los efectos del cambio climático. Se velará por su incorporación transversal en los programas y proyectos de dichos sectores mediante mecanismos creados para el efecto.

Art. 252.- Planificación territorial y sectorial para el cambio climático. Deberán incorporarse obligatoriamente criterios de mitigación y adaptación al cambio climático en los procesos de

planificación, planes, programas, proyectos específicos y estrategias de los diferentes niveles de gobierno y sectores del Estado.

Art. 253.- Mecanismos de financiamiento. La Autoridad Ambiental Nacional en coordinación y articulación con las entidades competentes, establecerá mecanismos para identificar y canalizar financiamiento climático proveniente de fuentes nacionales e internacionales, para gestionar medidas y acciones de mitigación y adaptación al cambio climático (Ministerio del Ambiente [MAE], 2017, pág. 65).

### **2.1.3 Plan Nacional de Desarrollo 2017- 2021**

El presente estudio se enmarca en el objetivo, política y lineamientos estratégicos que son los siguientes:

**Objetivo 3.** Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

Existe una responsabilidad ética con las actuales y futuras generaciones para mantener, precautelar y dar soporte a la vida en todas sus formas; reconocer el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando la sostenibilidad y el Buen Vivir. Estos son los grandes desafíos que el Estado y la sociedad ecuatoriana deben mantener y profundizar (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017).

### **2.1.4 Plan Nacional REDD+**

El Plan Nacional se refiere a las políticas e incentivos positivos para la reducción de emisiones debidas a la deforestación y la degradación de los bosques (REDD+), el cual promueve la conservación, el manejo forestal sostenible y la recuperación de los bosques y sus reservas de carbono (Ministerio del Ambiente [MAE], 2016).

Mediante la ejecución del Plan de Acción REDD+, se posee una oportunidad para contribuir con la mitigación del cambio climático y también la adaptación para la gestión integral y sostenible de los bosques. El Ecuador, adoptó como políticas de Estado los mecanismos de mitigación y adaptación al cambio climático, lo que los convierte en ejes transversales a todos

los sectores. Dentro de los objetivos que el país se propone con este accionar está la reducción de emisiones brutas de al menos 20 % al 2025, mediante el establecimiento de políticas, medidas y acciones REDD+ enfocadas a reducir la deforestación (MAE, 2016).

### **2.1.5 Línea de investigación**

Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

### **2.1.6 Código de ética**

Artículo 4.- Para cumplir con su misión, la Universidad Técnica del Norte, define los siguientes principios éticos y valores como fundamento para el ejercicio de sus acciones y como guía para la orientación de su desarrollo

Artículo 5. Eticidad.- La institución se guía por los valores universales de honestidad, honradez, responsabilidad y justicia. Sus integrantes y egresados se desempeñarán con sólidos códigos de ética profesional y humana.

Artículo 6. Búsqueda del conocimiento.- La institución es una comunidad de aprendizaje en donde todos sus miembros tienen un permanente deseo de alcanzarlo, mediante el aprovechamiento de amplias fuentes de información científica, tecnológica y cultural.

Artículo 9. Ecologismo.- La universidad entiende, acepta su responsabilidad histórica y se compromete a luchar por la preservación de las más adecuadas condiciones de vida en el planeta Tierra, es una entidad preservadora del medio ambiente y propugnadora del desarrollo sustentable. (El Honorable Consejo Universitario [HCU], 2012).

## **2.2 Fundamentación teórica**

### **2.2.1 Cambio climático**

El planeta ha tenido cambios de clima constantes y fluctuaciones importantes en las temperaturas medias, estas características provocan el cambio climático y produce el aumento de temperatura y de los fenómenos meteorológicos intensos. (Amnistía Internacional [AI], s.f.)

Los impactos generados debido al cambio climático están claramente reflejados en los sistemas naturales, como en el derretimiento de los glaciares, el exceso y carencia de precipitaciones, la pérdida de biodiversidad, que promueve cambios en la distribución espacial de especies, la alteración de ciclos y ritmos biológicos y por ende procesos de adaptación poco efectivos (Silva C. , 2019, pág. 1).

- Derretimiento de los glaciares

Al inicio del año 1900 los glaciares se han derretido de manera rápida, este efecto se debe al incremento de temperatura por medio del dióxido de carbono y otras emisiones de gases de efecto invernadero. Si esto continúa los científicos piensan que el hielo del Ártico podría desaparecer en el verano desde el 2040. (Descubre World Wildlife Fund [WWF], 2019)

- Exceso y carencia de precipitaciones

El incremento de lluvias y de sequías cada vez es más intenso, lo que provoca graves consecuencias; es decir, interrumpen la cadena de producción de alimentos, desafían a las economías, generan migraciones y crean incertidumbre. Es posible que la falta o el incremento de precipitaciones se alteren y obtengan cifras récord en el futuro. (Schwartz, 2018)

- Pérdida de biodiversidad

El cambio climático puede afectar el desarrollo, fisiología y los comportamientos de los individuos durante las fases de crecimiento. Además, al tener un aumento de temperatura se afectaría el tamaño, distribución, estructura y abundancia de las poblaciones en algunas especies. Sumado a estos efectos también se afectaría los ecosistemas que sufren alteraciones en los ciclos de nutrientes, su estructura, distribución y en las interacciones entre especies. (Botero, 2015, pág. 13)

### **2.1.1.1 Gases de efecto invernadero**

“Los gases invernadero son aquellos que contribuyen, en mayor o menor medida, al aumento del efecto invernadero, ya que son capaces de absorber la energía calorífica que transportan las radiaciones de onda larga que son reflejadas por la superficie de la Tierra” Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, NOAA. (2020). Línea verde.

Los gases de invernadero más comunes e importantes son el dióxido de carbono, el óxido

nitroso y el metano.

Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): Este gas de efecto invernadero se encuentra en concentraciones relativamente bajas en la atmósfera, aproximadamente un 0,03%. A pesar de sus bajos niveles, se trata del mayor impulsor del calentamiento global.

Metano (CH<sub>4</sub>): El metano es un gas de invernadero muy potente. En 100 años, una tonelada de metano podría calentar el globo 23 veces más que una tonelada de dióxido de carbono.

Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O): El óxido nitroso es el único óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) que actúa como gas de efecto invernadero. El óxido nitroso tendrá en un siglo un efecto de calentamiento global aproximadamente 300 veces superior al del dióxido de carbono. (Organización internacional centrada exclusivamente en la conservación de los océanos[OCEANA], s.f., pág. 1)

### **2.1.1.2 Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador (ENCC) 2012-2025**

El Gobierno Ecuatoriano ha visto necesario elaborar una Estrategia Nacional de Cambio Climático de carácter transversal a los distintos sectores, que oriente la acción concertada, ordenada y planificada, que promueva la internalización del tema en instancias públicas y privadas en todo el país. (MAE, 2012, pág. 35)

Nueve principios guiarán la implementación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático para alcanzar la visión planteada para el año 2025.

- Articulación regional e internacional.
- Consistencia con principios internacionales sobre cambio climático.
- Énfasis en la implementación local.
- Integridad ambiental.
- Participación ciudadana.
- Pro actividad.
- Protección de grupos y ecosistemas vulnerables.
- Responsabilidad inter-generacional.
- Transversalidad e integralidad.

La Estrategia Nacional de Cambio Climático consta de cuatro horizontes de planificación:

- **Visión.-** Una visión al 2025 que oriente a largo plazo hacia dónde dirigir los esfuerzos del país respecto al cambio climático.
- **Líneas Estratégicas.-** Dos Líneas Estratégicas que constituyen los ejes de la ENCC para el cumplimiento de la visión al 2025. Enfocadas en la reducción de vulnerabilidad y de emisiones de GEI.
- **Objetivos, Resultados y Lineamientos para la Acción.-** La Estrategia cuenta con un objetivo general para cada Línea Estratégica, 15 objetivos específicos en total, y 45 resultados definidos para el año 2013.

Para el 2017 y el 2025 contemplan “Lineamientos para la Acción” que ofrecen grandes orientaciones a cada sector, para el trabajo a largo plazo en cada Línea Estratégica.

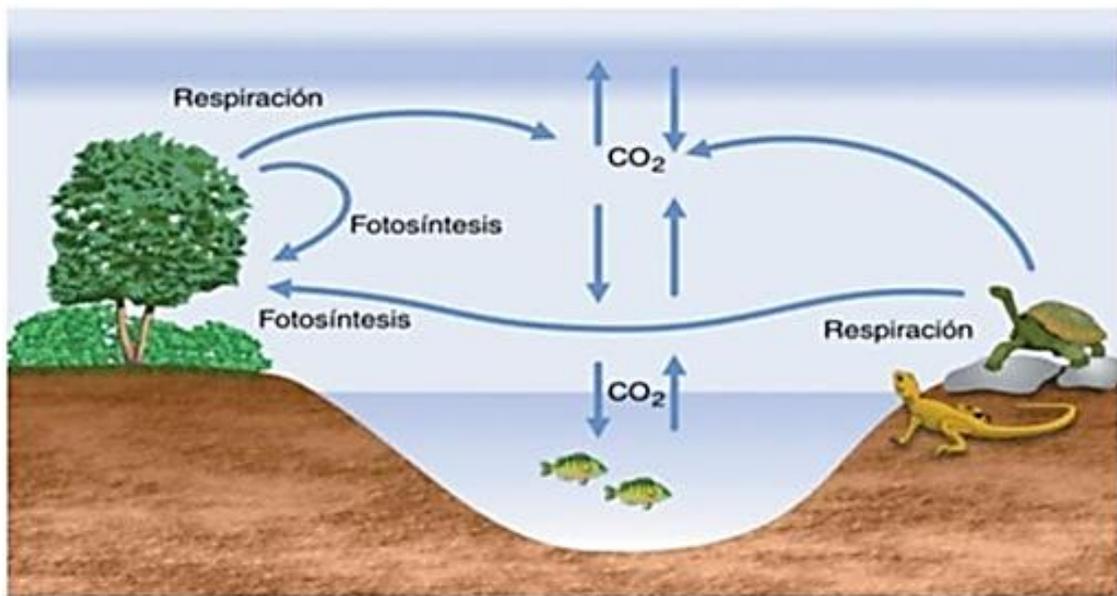
- **Mecanismo de Implementación.-** El Mecanismo de Implementación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático cuenta con 3 instrumentos: Plan de Creación y Fortalecimiento de Condiciones, Plan Nacional de Adaptación y Plan Nacional de Mitigación. (MAE, 2012, pág. 37)

## **2.2.2 Carbono**

El dióxido de carbono es un gas que no tiene color, es denso y poco reactivo; es parte de la capa de la atmosfera que más se acerca a la tierra. Tiene un balance complicado debido a las interacciones de la reserva atmosférica de este gas. El incremento en la actualidad es un factor considerable en el cambio climático, ya que el análisis de los gases que se retienen en la Antártida y Groenlandia en muestras de hielo permitió reconocer la concentración del dióxido de carbono (Braga, s.f.).

### **2.2.2.1 Ciclo del carbono**

El carbono se encuentra presente en tres enormes sumideros del planeta, el océano, la atmósfera y biomasa terrestre (Estela, 2019), es un elemento crucial de los compuestos orgánicos. El ciclo del carbono es llevado a cabo por los procesos de fotosíntesis y respiración de plantas. Las alteraciones realizadas a la vegetación y al suelo, generan automáticamente el aporte de emisión de carbono hacia la atmósfera (Gómez, 2016).



**Figura 1.** Ciclo de carbono  
**Fuente:** Estela, (2019)

El suelo también tiene su relación en el ciclo del carbono, al existir la descomposición de materia orgánica en procesos de intervención de bacterias, la materia orgánica se mineraliza, cierta parte se devuelve a la atmósfera, otra permanece en el sitio, y una parte debido a procesos hidrológicos es llevada al mar, en donde se deposita a manera de carbonatos (CO<sub>3</sub>) (FAO, 2013).

#### 2.2.2.2 Métodos para estimar el carbono

Se reconoce cinco fuentes de biomasa de carbono tales como, biomasa aérea y subterránea, hojarasca, madera muerta y carbono orgánico del suelo (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2006).

El Centro Tecnológico Agrario y Alimentario (citado en Trujillo, 2018). La biomasa puede entenderse tanto como materia orgánica viva y desechos resultantes del aprovechamiento forestal, un ejemplo claro es el fuste, cortezas y ramas. Es de origen biológico más no fósil que se encuentra sobre la superficie del suelo.

##### a) Método destructivo

El método destructivo alude a la corta de árbol para su pesaje directo de la biomasa, el tronco,

ramas y hojas, el cual proporciona un valor más acertado de la cantidad de biomasa de un individuo (Hernán, 2013).

b) Método no destructivo

El método no destructivo permite estimar el contenido de carbono en especies forestales, sin la necesidad de cortar los árboles con la aplicación de ecuaciones alométricas con datos proporcionados de variables de fácil medición, tales como el diámetro, la altura y la densidad de la especie forestal (Bueno, 2017).

### **2.2.2.3 Bonos de carbono**

Los bonos de carbono son un negocio rentable, por lo cual la ONU promueve los mecanismos de desarrollo limpio de Kyoto para facilitar el intercambio de información vinculado y generar negocios con la venta de bonos (Moncayo, 2018). Los tres Mecanismos son: el Comercio de Emisiones, el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el Mecanismo de Aplicación Conjunta. Los dos últimos, son los denominados Mecanismos basados en proyectos, debido a que las unidades de reducción de las emisiones resultan de la inversión en proyectos, adicionales ambientalmente, encaminados a reducir las emisiones antropógenas por las fuentes, o a incrementar la absorción antropógenas por los sumideros de los gases de efecto invernadero. Estos Mecanismos son instrumentos de carácter complementario a las medidas y políticas internas que constituyen la base fundamental del cumplimiento de los compromisos bajo el Protocolo de Kioto (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico [MTERD], s.f.).

Los bonos de carbono son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es parte de los mecanismos propuestos en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global (Kantor, 2015). La comercialización se la realiza por medio de proyectos denominados Mecanismos de Desarrollo Limpios, los cuales tienen como objetivo mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, adquiriendo beneficios económicos, sin embargo existen empresas que desconocen estos beneficios y que pueden ser parte de la obtención de créditos económicos mediante estos proyectos (Rudnick, 2011). El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas

contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la contaminación generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a contaminar como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado (Kantor, 2015).

### **2.2.3 Biomasa**

Es una materia orgánica que sirve como fuente energética, originándose mediante un proceso biológico, el cual puede ser provocado o no. Además de ser una fracción biodegradable, productos y desechos que son el resultado de actividades agrarias, de origen vegetal o animal, de silvicultura y de algunas industrias ligadas como la de pesca; también se incluye diferentes fracciones biodegradables de residuos que sean de origen biológico (Renovables, Asociación de Empresas de Energías [APPA], s.f.).

### **2.2.4 Ecuaciones alométricas**

Se la utiliza para valorar medidas tomadas sobre especies forestales, con el fin de construir modelos utilizados para predecir rendimiento de madera o la biomasa, y a partir de la biomasa el carbono estimado (Casanoves, 2015).

Las ecuaciones alométricas son parte fundamental al momento de predecir la biomasa de un árbol, con las diferentes variables dasométricas y su facilidad en la medición como es el diámetro, altura total y altura comercial; estos elementos permiten estimar la cantidad que aporta las diferentes zonas forestales al ciclo de carbono (Picard, 2012). Estas ecuaciones se consideran matemáticas por los respectivos cálculos que se realizan al momento de realizar la estimación con las diferentes variables para desarrollar los modelos de biomasa (Segura, 2008).

### **2.2.5 Bosque alto andino**

Estos bosques son densos y tienen individuos que crecen entre 5 y 7 metros, por las condiciones climáticas se caracterizan por crecer de forma ramificada y torcida, se encuentran en forma de parches aislados en laderas abruptas (MAE, 2013, pág. 133).

Los bosques alto andinos o montano bajos se encuentran ubicados en la cordillera de Los Andes, en tierras frías y muy frías (Young, 2015). Un gran número de especies de plantas y

animales que habitan estos bosques son endémicas. Sus poblaciones naturales son pequeñas, frágiles y muchas de ellas están en peligro de extinción. Las plantas funcionan como esponjas y absorben y acumulan grandes cantidades de agua que dan origen a riachuelos, quebradas y ríos que descienden a las zonas bajas (Baiker, 2009).

Este tipo de ecosistema es el que se encuentra en la presente investigación, siendo el hábitat ideal para *Oreopanax ecuadorensis* Seem; la característica principal de tener un clima frío se debe a la altura, tal como se muestra en la localización geográfica de esta investigación.

## **2.2.6 Descripción de *Oreopanax ecuadorensis* Seem**

### 2.2.6.1 Descripción botánica

Este árbol mide de 5 a 15 m de altura, se caracteriza por tener ramas lisas a estrelladas-tomentosas y estípulas lineales en el pecíolo, también se caracteriza por las hojas lobuladas, alternadas de pecíolo largo, cuando la planta es adulta son pentalobadas, con flores polígamas y fruto con baya elipsoide de semillas pequeñas oblongas; inflorescencias de umbelas paniculadas o terminal (Palacios, 2015).

Su corteza es parda y fuertemente agrietada, con diferentes ramas de cicatrices acumuladas debido a la caída de las estípulas, en el envés de las hojas y las inflorescencias están recubiertas por un tomento lanoso de una gran densidad con un color crema (Palacios, 2015).

La inflorescencia es una panícula terminal de cabezas de 30 cm de largo, y las cabezas tienen 2 cm de diámetro con una gran densidad, tiene flores numerosas que están agrupadas en cada cabeza, con el cáliz reducido a un anillo y pétalos lanceolados de 3 mm de largo (Palacios, 2015).

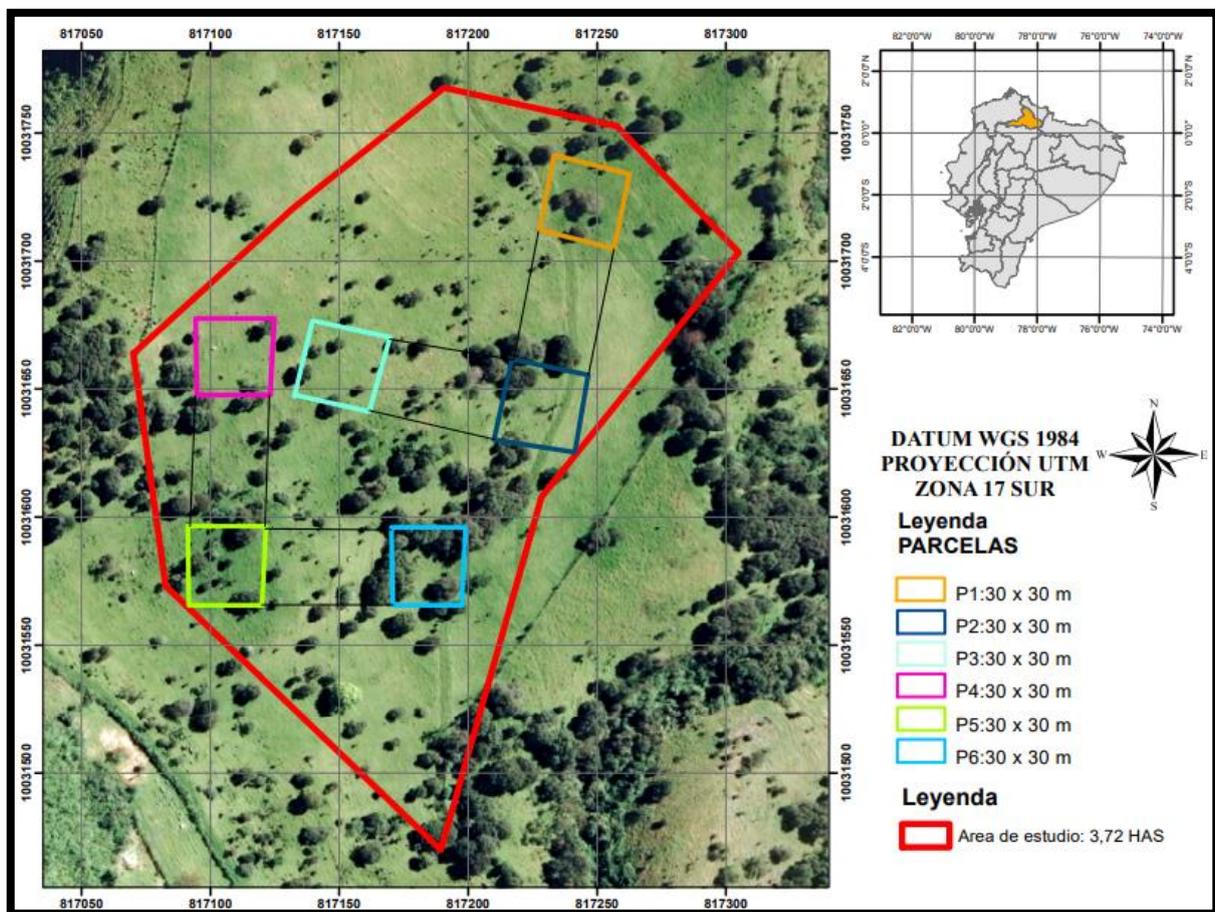
### 2.2.6.2 Distribución Geográfica

Localizada en la parte norte de la sierra, principalmente en el parque nacional Cotacachi-Cayapas y reservas ecológicas Cayambe-Coca y El Ángel; en una altitud que va entre 2500-4000 msnm. Se encuentra en algunas provincias como Imbabura, Pichincha, Napo, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo y Azuay (Palacios, 2015).

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Ubicación del sitio de estudio

La presente investigación se realizó en el sector de San Francisco de Chorlavi, parroquia Caranqui, cantón Ibarra, provincia de Imbabura, en las faldas del volcán Imbabura. Tal como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Mapa de ubicación del área de estudio

*Elaborado: Autoría propia*

### 3.1.1 Localización geográfica

La presente investigación se encuentra en las siguientes coordenadas:

- Latitud: 0° 17' 13.3944'' N
- Longitud: 78° 9' 2.2896'' E
- Extensión: 3,72 ha
- Altitud media: 2460 m (Tophographic-map, s.f.)

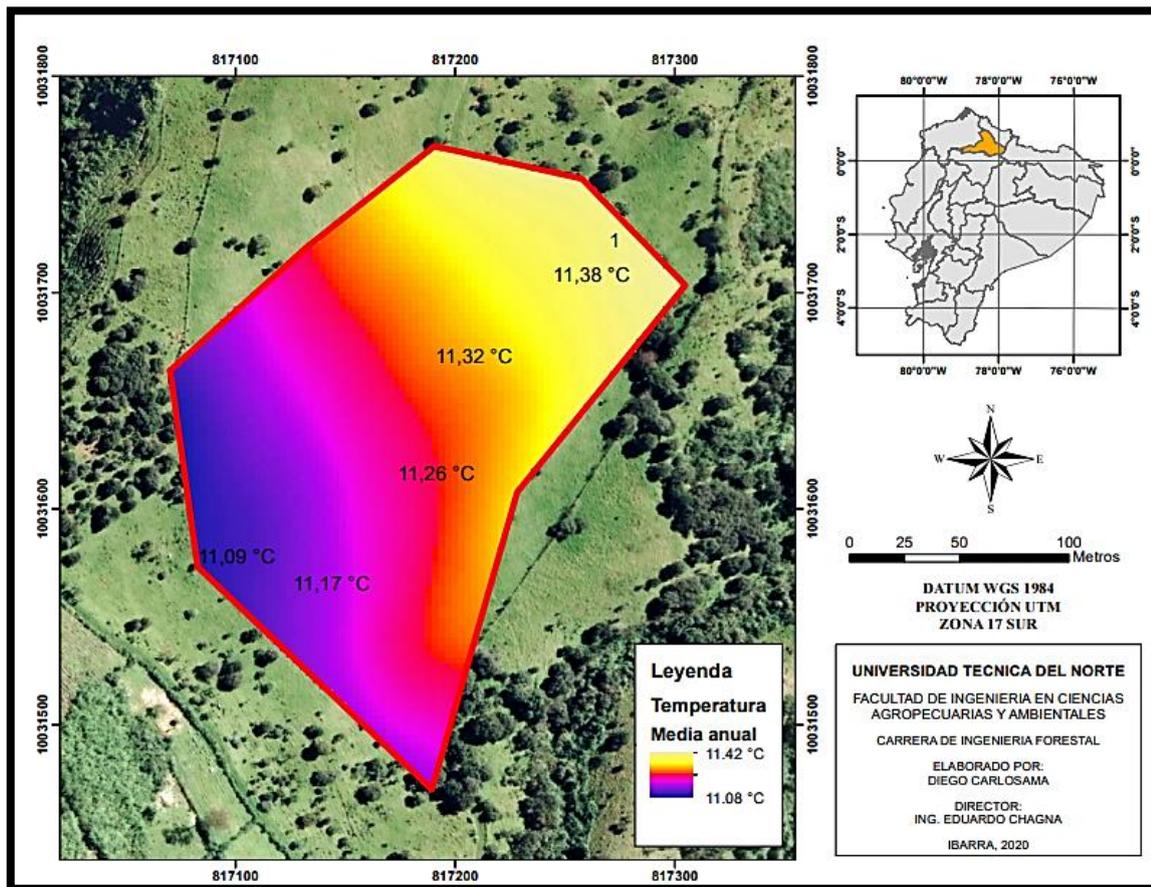
### 3.1.2 Datos climáticos

Temperatura media 11.25 °C.

Clima Templado - húmedo (Instituto nacional de meteorología e hidrología [INAMHI], 2013)

Precipitación 85.4mm (INAMHI, 2013)

En la figura 3 se evidencia el resultado del cálculo de temperatura, obtenido mediante el Software GIS 10.4 con el fin de reconocer la temperatura media.



**Figura 3.** Mapa de temperatura del área de estudio

Elaborado: Autoría propia

### 3.2 Materiales, equipos y software

#### 3.2.1 Materiales

- Libreta de campo
- Fundas plásticas
- Material de transferencia

### **3.2.2. Equipos**

- GPS
- Cámara digital
- Estufa
- Computadora
- Clinómetro digital
- Cinta métrica
- Balanza de precisión

### **3.2.3 Software**

- Software ArcGIS 10.4
- Software estadístico InfoStat

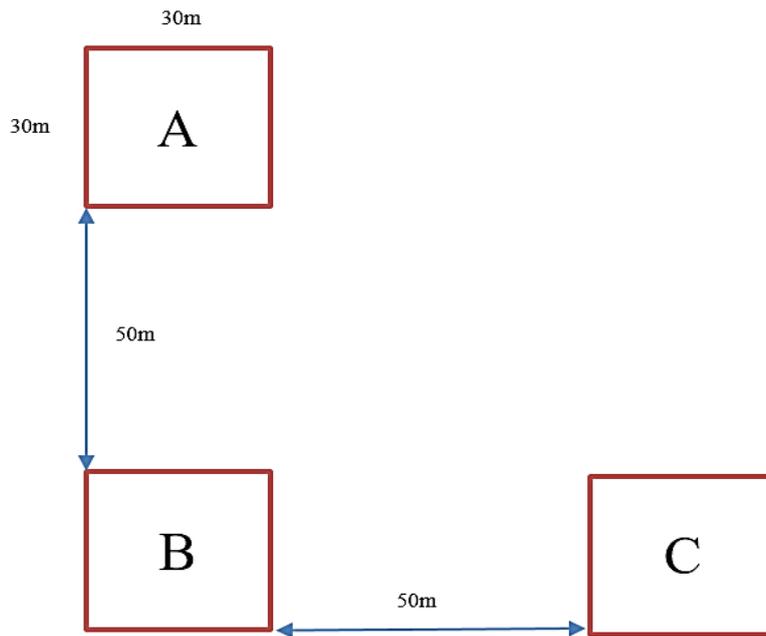
## **3.3 Metodología**

### **3.3.1 Delimitación del área de estudio**

La delimitación del área de estudio se la realizó con un navegador GPS, cuyas coordenadas fueron procesados en un software GIS, con el fin de obtener el mapa de ubicación; tal como se muestra en Figura 2.

### **3.3.2 Instalación de parcelas**

Se delimitó el bosque nativo, de acuerdo a la metodología de (Evaluación Nacional Forestal del Ecuador [ENF], 2012). Se instaló parcelas en conglomerados de 30m x 30m en forma de “L” a distancias de 50m realizando modificaciones para ajustarlas a la realidad, así se evidencia en la Figura 4.



**Figura 4.** *Distribución de parcelas*

### 3.3.3 Medición de las variables

a) Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Para la medición del DAP se utilizó una cinta métrica que midió la circunferencia a 1,30 m del suelo, cuyos valores se expresaron en centímetros. Para su transformación a DAP se realizó el cálculo en base a la ecuación 1, tomada de (Universidad Nacional de la Plata [UNLP] 2002).

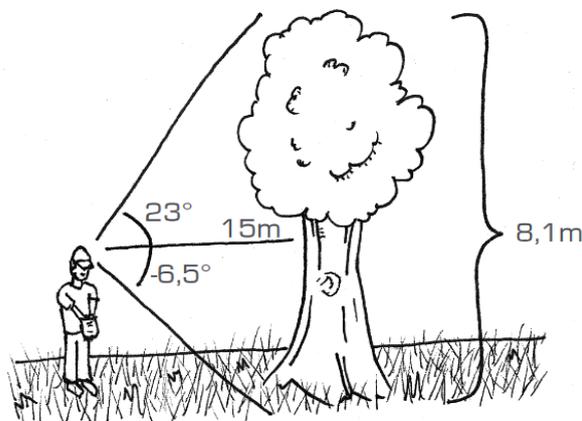
$$D = \frac{C}{\pi} \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde:

- D: diámetro (m)
- C: circunferencia (m)
- $\pi$ : constante 3,1416

b) Medición de altura total y comercial

Para la medición de la altura se utilizó el clinómetro digital, el investigador se ubica a una distancia de 15 a 20 m con respecto al árbol, luego se procedió a tomar mediciones del ángulo superior e inferior, con el cálculo automático del clinómetro se obtuvo la altura total como se muestra en la Figura 5. Para la obtención final de los parámetros se usó la ecuación 2 ([UNLP], 2002). Además para la altura comercial se procedió a medir con el clinómetro desde la superficie del árbol hasta la base de la copa.



**Figura 5.** Medición de alturas  
**Fuente:** Vallejo, (2005)

$$H = (\text{tang}\alpha_1 + \text{tang}\alpha_2) \times L$$

(Ec.2)

Dónde:

- H: Altura (m)
- $\alpha_1$ : lectura del ángulo 1 (grados)
- $\alpha_2$ : lectura del ángulo 2 (grados)
- L: longitud (m)

### 3.3.4 Determinación de la biomasa arbórea

#### 3.3.4.1 Selección y estimación de biomasa de individuos muestreados

En la determinación de biomasa se seleccionaron los árboles que se encontraron en las parcelas conglomeradas de esta investigación, con el fin de medir las variables dasométricas y realizar los cálculos necesarios; se muestran a continuación en el orden que se ejecutó:

##### a) Área basal

Para el área basal fue necesario realizar mediante el cálculo respectivo, ya que se utilizó el diámetro obtenido directamente del sitio de investigación y mostrado anteriormente, además de la constante como se observa en la ecuación 3 tomada de (Chave *et.al.*, 2005).

$$AB = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

(Ec.3)

Donde:

- AB: área basal (m<sup>2</sup>)
- D: diámetro (m)
- $\pi$ : constante 3,1416

##### b) Volumen del fuste

Para obtención del volumen del fuste se aplicó la siguiente fórmula, en la cual muestra secuencia de los cálculos anteriores, ya que utiliza datos anteriores como el área basal y la altura, tal como se expresa en la ecuación 4. (MAE, 2014)

$$V = AB \times H \times ff$$

(Ec.4)

Dónde:

- V= volumen (m<sup>3</sup>)
  - AB= área basal (m<sup>2</sup>)
  - H= altura (m)
  - ff= factor de forma (0.7)
- (MAE, 2014)

### 3.3.5 Determinación de densidad de la muestra del fuste

#### 3.3.5.1 Densidad del fuste

Con la ayuda del barrenador Pressler se tomó una muestra de los árboles, seguido de ello se realizó la incisión a 1,30 m de altura (Charria, 2014). Donde se obtuvo la muestra para ser analizada en el laboratorio. Para poder calcular la densidad, es necesario primero obtener el volumen mediante la fórmula de Smalin, expresada en la ecuación 5 (Segura & Andrade, 2008).

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D_{\text{centro}}^2 \times L \quad (\text{Ec.5})$$

Dónde:

- V= volumen de la muestra verde (m<sup>3</sup>)
- D<sup>2</sup>= diámetro en el centro de la pieza (m<sup>2</sup>)
- L= longitud de la muestra (m)
- $\pi$ = constante 3,1416

Las muestras obtenidas fueron secadas en la estufa del laboratorio de biotecnología a una temperatura de 102 ±3°C hasta alcanzar su peso constante, para luego ser pesadas en una balanza de precisión y aplicar la ecuación propuesta para determinar la densidad de los individuos muestreados, con la aplicación de la ecuación 6 (Giraldo, Nieto, Sarmiento & Borralho, 2014).

$$Db = \frac{Ps}{V_{\text{verde}}} \quad (\text{Ec.6})$$

Dónde:

- Db= densidad básica (kg/m<sup>3</sup>)
- Ps= Peso seco (Kg)
- Vverde= volumen verde (m<sup>3</sup>)

La densidad es la relación del peso por unidad que tiene el volumen, el cual se transforma de kilogramo sobre metro cúbico a gramos sobre centímetro cúbico, además según la densidad de madera se establece una clasificación (Kollman, 2014).

Tabla 1. *Densidad de la madera* (Kollman, 2014)

Densidad	Rango
Muy bajo (MB)	hasta 0.35 gr/cm <sup>3</sup>
Bajo (B)	0.36 a 0.50 gr/cm <sup>3</sup>
Mediano (M)	0.51 a 0.75 gr/cm <sup>3</sup>
Alto (A)	0.761 gr/cm <sup>3</sup>

### 3.3.6 Cálculo de la biomasa arbórea

#### 3.3.6.1 Biomasa del fuste

La biomasa fue calculada una vez obtenidos los valores del volumen del fuste además de la densidad de la muestra, por lo cual se aplicó la ecuación propuesta por (Segura & Andrade, 2008), expresada en la ecuación 7.

$$Bf = V \times df$$

(Ec.7)

Dónde:

- Bf: biomasa arbórea (Kg)
- V: volumen del fuste (m<sup>3</sup>)
- df= densidad el fuste (Kg/m<sup>3</sup>)

### 3.3.6.2 Biomasa de ramas y hojas

#### a) Número de ramas

Fue seleccionada una rama situada en el centro de la copa de cada individuo para multiplicar por el número total. Luego cada rama se la dimensionó cortándola cada 10 cm de longitud (Patiño, 2005). Este cálculo permite extrapolar los datos en cada parcela del estudio.

#### b) Número de hojas

A continuación en las hojas fue necesario recolectar todas las que se encontraban en la rama con el fin de extrapolar por el número total de hojas para estimar la biomasa del individuo, siendo este un dato indispensable para el desarrollo de la investigación (Patiño, 2005).

Fueron llevadas al laboratorio para ser pesadas en verde y obtener su peso inicial, las hojas y ramas estuvieron sometidas a la estufa en una temperatura de  $102 \pm 3^{\circ}\text{C}$  por 11 horas y por 24 horas respectivamente obteniendo así un estado anhidrido, luego fueron pesadas nuevamente para obtener su peso seco y extrapolar por el número total de ramas con el fin de estimar la biomasa del individuo con la ecuación 8 (Segura & Andrade, 2008), mediante el cálculo de porcentaje de materia seca.

$$\%Ms = \frac{(Pi - Ps)}{Pi} \times 100 \quad (\text{Ec.8})$$

Dónde:

- Ms: Materia seca (%)
- Pi: Peso inicial (Kg)
- Ps: Peso seco (Kg)

Posteriormente se calculó la biomasa de las ramas y de las hojas de manera consecutiva, se utilizó el dato calculado anteriormente de porcentaje de la materia seca, también el peso inicial, como se muestra en la siguiente ecuación 9 (Segura & Andrade, 2008).

$$B = \frac{(Pi \times Ms)}{100}$$

(Ec.9)

Donde:

- B: Biomasa (kg)
- Pi: Peso inicial (kg)
- Ms: Materia Seca (%)

### 3.3.6.3 Biomasa total del árbol

En el caso del cálculo de la biomasa total del individuo se utilizó los resultados obtenidos anteriormente como es la biomasa del fuste, la biomasa de las ramas y la biomasa de las hojas. Para obtener la biomasa total se ejecutó mediante la ecuación 10 (Sifuentes, 2015).

$$BTa = Bf + Br + Bh$$

(Ec.10)

Dónde:

- BTa: biomasa del árbol (kg)
- Bf: biomasa total del fuste (kg)
- Br: biomasa de ramas (kg)
- Bh: biomasa de hojas (kg)

### 3.3.7 Construcción de modelos alométricos

Se organizó la información de cada individuo con el fin de observar en la misma fila los datos de las variables independientes que se obtuvieron en campo como son: DAP, altura total y altura comercial. De la misma manera en las variables dependientes como la biomasa. Luego se realizó

el gráfico de la biomasa contra cada variable independiente para observar la tendencia del gráfico y definir si el modelo a utilizar es lineal o no (Segura & Andrade, 2008).

En el caso de la mejor elección del modelo alométrico que mejor se ajuste a los datos se tomó en cuenta diferentes elementos como, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que debe ser el más alto.

La suma de cuadrados de los residuos, mediante el uso de datos como el valor observado y el valor predicho, para el cálculo respectivo se obtiene con la siguiente ecuación 11 (Segura & Andrade, 2008).

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_{ip})^2$$

Ec.11

Donde:

- PRESS: suma de cuadrados de los residuos
- $Y_i$ : valor observado
- $\hat{Y}_{ip}$ : valor predicho

Una vez finalizado el cálculo de los indicadores se pondera la información, es decir se calcula mediante la resta de la biomasa total menos las ecuaciones aplicadas, este valor al cuadrado. Una vez obtenido este dato de todos los individuos se suman todas las ponderaciones y así se obtienen los valores para el cálculo del indicador RCME (Segura & Andrade, 2008).

La raíz cuadrada media del error se calcula empleando la siguiente fórmula de la ecuación 12 (Segura & Andrade, 2008).

$$RCME = \sqrt{PRESS/(n - p)}$$

Ec.12

Donde:

- RCME: raíz del cuadrado medio del error
- PRESS: suma del cuadrado de los residuos
- n: número de observaciones
- p: número de parámetros del modelo lineal

Este indicador se obtiene mediante el cálculo de la raíz cuadrada del valor antes obtenido (PRESS), y dividido para el número de individuos menos uno. El resultado más bajo es el modelo que mejor se ajusta a los datos (Segura & Andrade, 2008).

Se graficaron los modelos de mejor ajuste comparando los valores predichos con los valores observados, así se distingue una regresión lineal como se muestra en los resultados (Segura & Andrade, 2008).

### **3.3.7.1 Determinación de Carbono**

Para determinar el carbono arbóreo se aplicó el factor de expansión de 0,5 propuesto por (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2006). Este valor fue multiplicado el resultado obtenido de la biomasa total por árbol, y así extrapolar además a una superficie de una hectárea.

### **3.3.8 Proceso de gestión de venta de carbono**

El propósito de este acápite fue determinar la factibilidad para que el bosque pueda ingresar al mercado de carbono. En función de dos aspectos a considerar:

En el primer punto se detallaron los pasos a seguir, en función a lo que establece el MAAE, como entidad reguladora.

En el segundo punto fue analizar las características del bosque y los resultados de carbono para determinar si es posible que el mismo sea parte del mercado de bonos de carbono.

#### **3.3.8.1 Pasos a seguir**

En la colaboración de la propuesta se realizó una revisión bibliográfica la cual se basó en la guía de orientaciones del mercado de carbono dirigido por la autora y asesora de la (Organización de desarrollo de los países [SNV]) Svetlana Samayoa; aquí menciona los pasos a seguir para el ingreso al mercado, esta información fue confirmada como el documento legal mediante una entrevista que se realizó al Ingeniero Cachimuel Anguaya Luis, encargado del

MAAE (Samayoa, 2011). También se analizó ejemplos de comercialización de los bonos de carbono con el fin de relacionarse con el tema, como es el papel de la Unión Europea en las negociaciones sobre el cambio climático. Tal como se indica en los resultados que corresponde al acápite de la propuesta (Ruiz, 2015).

### **3.3.8.2 Factibilidad de ingreso al mercado**

Se realizó un análisis de los requerimientos legales y de los datos obtenidos en esta investigación como la superficie y la cantidad de carbono que almacena el bosque de *Oreopanax ecuadorensis* Seem para determinar si puede ingresar al mercado de carbono; también se realizó una propuesta alternativa en la que muestra la superficie necesaria, una posible solución para alcanzar la cantidad de carbono requerida y cuánto dinero se obtendría por este servicio ambiental (Escobar, 2003).

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Delimitación de área

El área de estudio del bosque nativo fue de 3.72 ha, donde se establecieron parcelas conglomeradas de 30 x 30 m relacionándolas a lo ejecutado en la evaluación nacional del MAE donde se obtuvo las coordenadas. Además mediante esta misma relación fue necesario tomar en cuenta que su respectivo establecimiento tiene presente el porcentaje de pendiente que fue con un promedio del 40% calculado mediante el Software GIS 10.4. (Evaluación Nacional Forestal del Ecuador [ENF], 2012)

Las parcelas se las realizaron en forma de L con el propósito de tener un fácil acceso y poderse trasladar en el lugar, de esta manera se logró obtener la información sin costos muy elevados en el análisis de datos y el establecimiento. Este diseño es lo ideal en lugares con pendientes, además de no ser necesario realizar caminos adicionales que puedan unir las parcelas, lo que provoca la reducción de impactos en el lugar (ENF, 2012).

#### 4.2 Inventario realizado

La HT, HC y el DAP tienen un promedio de 5.72 m, 2.24 m y 0.09 m respectivamente, mediante estos datos se realizó inferencias estadísticas como se muestra en la tabla 2, lo que evidenciar que no muestra una variación significativa en los elementos medidos. Esto se debe a la similitud de datos de las variables medidas, ya que tienen una HT que varía desde 4.7 m hasta 7.6 m, una HC de 1.5 m hasta 3.1 m y un DAP de 0.07m hasta 0.11 m. Mediante estos datos el cálculo del coeficiente de variación tiene una media aritmética representativa con 16%, 19% y 14% respectivamente y una variabilidad aceptable (Pedro, 2014, pág. 11). Los resultados tienen una semejanza a los encontrados en la investigación de (Carlos, 2015, pág. 43) en donde obtienen un coeficiente de variación en un rango entre 9.60% y 16.65% en la altura de esta especie.

En la tabla 2 se puede evidenciar que no muestra una variación significativa en los elementos medidos como el la HT, HC y DAP en vista que el coeficiente de variación tiene una media aritmética representativa de los datos.

Tabla 2 Parcelas del bosque nativo

	<b>HT (m)</b>	<b>HC (m)</b>	<b>DAP(m)</b>
<b><math>\bar{X}</math></b>	5.72	2.24	0.09
<b>S</b>	0.90	0.42	0.01
<b>SX</b>	0.18	0.08	0.002
<b>CV</b>	16	19	14

$\bar{X}$ : Medias; S: Desviación estándar; SX: Error estándar; CV: Coeficiente de variación; HT: Altura total; HC: Altura comercial; DAP: Diámetro a la Altura del Pecho.

### 4.3 Biomasa aérea del componente arbóreo

En las 3.72 ha investigadas se determinó un promedio de la cantidad de biomasa en el fuste, ramas, hojas y total; tal como se muestra en la figura 6. Este dato es una de las variables que se utilizaron para poder obtener las ecuaciones alométricas.

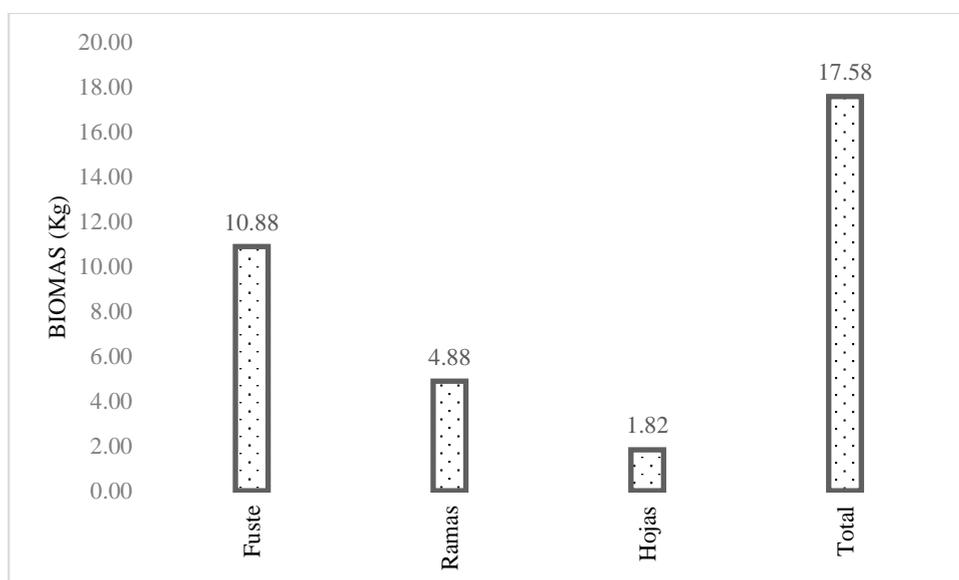


Figura 6. Biomasa promedio (kg) de *Oreopanax ecuadorense* Seem en las 3.72 ha

Por ser esta una investigación inédita no hay elementos o al menos se desconocen que permitan establecer análisis de comparación y discusión respecto de este ítem.

#### 4.4 Densidad de la especie

Existe pocas investigaciones de la especie *Oreopanax ecuadorensis* Seem, con datos de forma general, además con edades y estructuras fisiológicas diferentes, por lo cual el análisis de la densidad varía en cada investigación entre una densidad baja y media; en el presente estudio se obtuvo una densidad baja de 0.45 gr/cm<sup>3</sup> (Kollman, 2014).

Una de las investigaciones señala que la madera de esta especie es suave y flexible, ideal para su trabajabilidad por lo que se considera una planta extraña y que se encuentra en peligro de extinción, sin embargo cuando las condiciones son ideales surgen pequeños bosques (Yvanosky, s.f.). Mientras que (Coyago, 2016, pág. 5) indica que esta madera tiene una mediana densidad, lo que es ideal para chapas, torneado, pulpa y papel, entre otras.

Una de las pocas investigaciones que da un número preciso, muestra que esta especie tiene una densidad media de 0.64 gr/cm<sup>3</sup>, además de señalar algunas características generales como que es un árbol endémico de los Andes y uno de los lugares en donde se encuentra es en la provincia de Imbabura. (MAE, 2014, pág. 22)

#### 4.5. Modelos alométricos

Los modelos alométricos según sus criterios de selección son los siguientes:

Tabla 3 Modelos alométricos para el bosque nativo de Pumamaqui

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	RCM	R	Ponderación
		Ajus	E	vs P	n
A	B= -0.42+ DAP <sup>2</sup> HT +215.65+HT+1.49	0.94	0.94	1.25	0.94
B	B=5.20+ DAP <sup>2</sup> HT +281.83	0.93	0.93	1.39	0.94
C	B=-14.08+ DAP +369.97	0.82	0.87	1.97	0.91
D	B=-5.12+ DAP <sup>2</sup> HC +423.93+DAP+181.102	0.90	0.89	1.58	0.93

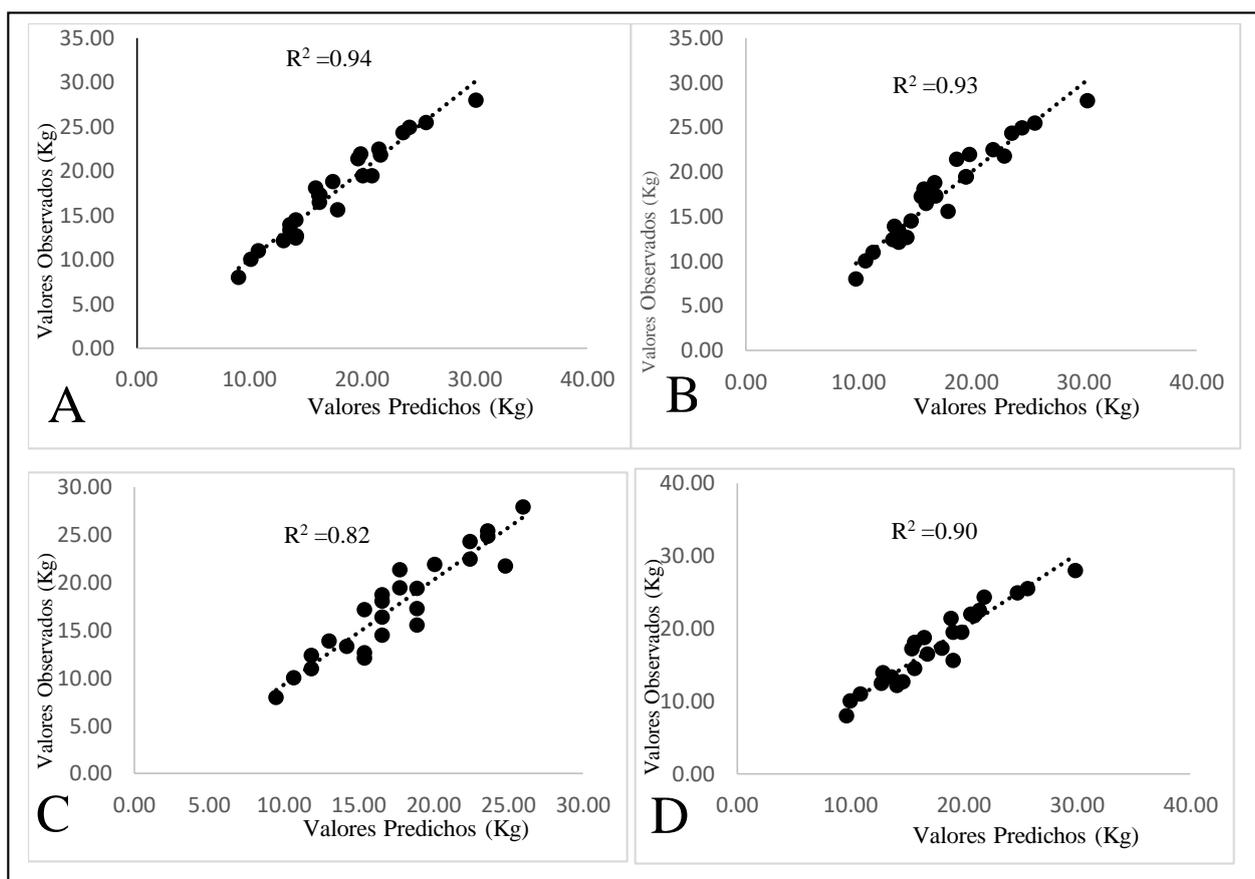
En la tabla 3 se reflejan las ecuaciones que fueron realizadas para su análisis, considerando a la ecuación uno como el modelo alométrico que mejor se ajusta, esto se definió mediante diferentes indicadores como la raíz cuadrada de la media (RCM) con el que se determina a la ecuación de mejor ajuste a la que tiene el valor más bajo; mientras que en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), residuos versus predichos (R vs P) y la ponderación son las que tiene un nivel de aproximación a uno con los valores más altos; todo esto coincide con la ecuación uno que es la que tienen un mejor ajuste.

En tanto que Oyos (2019), también se basó en estos indicadores y determinó la mejor ecuación con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.95, residuos versus predichos (R vs P) de 0.96 y una ponderación de 0.95, por lo cual los resultados obtenidos en la presente investigación son similares al autor antes descrito.

Del mismo modo Tabango (2020), realizó una investigación en la que utilizó los mismos indicadores para determinar la ecuación de mejor ajuste considerando los mismos factores.

#### **a) Representación gráfica de valores de biomasa observada vs predicha**

En la figura 7 muestra la conexión de los valores de biomasa observada vs los valores de biomasa predicha. En el modelo A se usó ( $DAP^2HT$ ) ya que según (Ortiz, 2008) esta metodología utiliza dichas variables debido a que tienen mayor incidencia en la biomasa, comprobando su efectividad, en el modelo B están las variables (DAP, HC), en el modelo C se utilizó (DAP, HT), y en el modelo D (DAP, HT, HC), obteniendo así una tendencia lineal que complace debido a no existir dispersión en su relación.



**Figura 7.** Correlación de los valores de biomasa observada vs predicha (Kg)

#### 4.6 Carbono total

La ausencia de investigaciones relacionadas con esta especie impide que se pueda generar una comparación, sin embargo se consideró el ecosistema similar de páramo para poder realizar una comparación de captura de carbono. Se obtuvo 5.19 Mg C ha en un páramo arbustivo, mientras que en esta investigación fue de 0.22 Mg C ha, esta discrepancia se debe a diferentes factores que se encuentran en la investigación de ejemplo como el método destructivo, la mayor cantidad de árboles, especies diferentes (entre ellas *Oreopanax andreanus* Marchal) y diferentes arbustos que fueron parte de los cálculos para la cantidad de carbono (Pinza, 2018, pág. 946).

## **4.7 Pasos a seguir para el ingreso a la venta de bonos de carbono**

Como parte fundamental en la metodología empleada es necesario revisar la información correspondiente a las leyes del Ecuador que son parte teórica y primordial para comprender el proceso de este mercado. También cabe recalcar la importancia de los efectos financieros que surgen al utilizar este instrumento, por tanto se debe utilizar técnicas de análisis cualitativos con el fin de obtener información, y de esta manera plantear las conclusiones respectivas del caso en cuestión (Perugachi, 2016).

Por tratarse de un proceso metodológico en el que la investigación no tuvo la suficiente captura de carbono para ingresar al mercado y realizar este procedimiento; además de comprobar mediante una entrevista en el MAAE (Ministerio del ambiente y agua del Ecuador), en la que señalan que el país aún no participa oficialmente en el mercado de carbono para bosques alto andino, por lo que aún no hay datos oficiales con este ecosistema. Lo anteriormente expuesto no permite establecer parámetros para hacer una discusión, sin embargo se describe a continuación los pasos a seguir para el ingreso al mercado.

### **4.7.1 Mercado de carbono**

En el mercado voluntario de carbono para proyectos pequeños como se realizó en la presente investigación; es necesario realizar las fases establecidas en el ciclo de proyectos mencionado por la autora y asesora de la (SNV) Svetlana Samayoa, que se describen a continuación:

#### **4.7.1.1 Nota de idea de proyecto**

Se refiere a un documento que contiene características generales y la contribución en la captura de gases de efecto invernadero, es decir que se describe el sitio de investigación, la especie, sus coordenadas, el inventario y la captura de carbono que fue de 0.22 Mg de CO<sub>2</sub> que aporta este bosque, mediante la implementación de un proyecto (Samayoa, 2011).

Estas características son de forma general, y consecutiva de la manera en que se realizó cada procedimiento.

#### **4.7.1.2 Documento de diseño del proyecto**

La ejecución del documento de diseño también debe estar en inglés, y es la ampliación de la nota de idea de proyecto, en el cual están presentes los datos generales, metodología de línea, monitoreo, descripción y una consulta pública que muestra los beneficios sociales (Samayoa, 2011).

Los datos generales se encuentran en la investigación realizada, tales como superficie, variables dasométricas, la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub>, entre otras.

La metodología lineal es la base en la cual se realiza este proyecto de comercialización, siendo esta los estándares establecidos por la Asociación Internacional de Comercio de Emisiones, este formato se utiliza para realizar la compra y venta de bonos de carbono y acoplándose también a nivel nacional.

La descripción y la consulta se la realiza mediante el MAAE que es la entidad encargada con los respectivos técnicos de realizar el monitoreo por medio de un proyecto establecido en el que muestra una descripción clara del lugar, argumentando datos como las coordenadas del mapa de ubicación, temperatura, pendiente y un seguimiento continuo de una vez por año debido a los costos. Tal como se muestra en la investigación.

#### **4.7.1.3 Validación**

Efectúa el MAAE y consiste en una evaluación independiente, con el fin de identificar la viabilidad económica, social y ambiental del proyecto. Esta entidad debe revisar los documentos usados como base para poder reafirmar que los datos son verídicos y que cumple con los requisitos establecidos (Jara, 2008).

#### **4.7.1.4 Registro**

Este paso se refiere a la aprobación formal del proyecto mediante las competencias que tiene el MAAE como entidad nacional, en los que deben constar todos los proyectos aceptados en la participación del mercado de carbono (Samayoa, 2011).

#### **4.7.1.5 Negociación del contrato**

Se utiliza un Acuerdo de Compra de Reducción de Emisiones definiendo la negociación, términos legales, características del lugar en donde se encuentra los bonos de carbono, los riesgos, circunstancias de compra y venta, forma y fecha de pago, además de la entrega de créditos de carbono; siendo el formato dispuesto por la Asociación Internacional de Comercio de Emisiones. Por lo cual esta negociación se fundamenta en un acuerdo entre vendedor que recibe el pago, con el comprador teniendo el compromiso de disminuir las emisiones que provoca (Samayoa, 2011). Su negociación comienza una vez siendo aprobado el proyecto por el MAAE y localizado el comprador que tiene interés en adquirirlo. El instante adecuado para realizar la negociación se establece antes o hasta emitir los bonos de carbono, ya que esto depende del riesgo y las necesidades.

#### **4.7.1.6 Implementación y monitoreo**

Una vez registrado el proyecto por el MAAE se da comienzo a las operaciones monitoreando su desarrollo, es decir realizando una vigilancia y la medición sistemática sobre el rendimiento que tiene, con el fin de calcular el total de secuestro de emisiones de carbono que genera. Se sigue con los pasos de monitoreo según el documento de diseño del proyecto, siendo esto indispensable para realizar los siguientes pasos del proyecto (Samayoa, 2011).

#### **4.7.1.7 Verificación y certificación**

Se realiza una revisión constante con el fin de comprobar si es efectivo el secuestro de emisiones considerándolas verídicas, este procedimiento se lo realiza las veces que considere

necesario quien propone el proyecto, considerando los costos, habitualmente se la realiza cada año. El MAAE es el encargado del procedimiento mediante técnicos hasta adquirir el reporte de verificación, para luego emitir la certificación como constancia del alcance que tuvo el proyecto (Samayoa, 2011).

Es necesario realizar la respectiva actualización de datos en un periodo de 4 años, debido a que por su altitud la especie se convierte en una de lento crecimiento, por lo que la biomasa no incrementará la cantidad que se desea. El reporte de verificación consiste en inspeccionar por completo la investigación realizada mediante el proyecto, enfocándose en aspectos como la delimitación del área, parcelas aglomeradas, variables dasométricas medidas y cálculos estadísticos que muestran las toneladas de carbono almacenadas.

#### **4.7.1.8 Emisión de CER**

Después de que el MAAE obtiene el reporte de certificación se realiza la entrega de bonos de carbono por la entidad establecida por el gobierno, con el propósito de obtener su acreditación, considerando una posible tardanza si es necesario pedir la revisión del proyecto ejecutado (Nairobi, 2006).

#### **4.7.1.9 Carta de aval gubernamental**

Dicha carta debe ser firmada por el MAAE, ya que en ella se encuentra la contribución del proyecto en el desarrollo sostenible, siendo diferente a los permisos ambientales y a permisos sobre leyes. En la mayoría de proyectos no exigen la carta de aval gubernamental, ya que en su lugar piden que se mantenga informada a la autoridad nacional designada sobre el proyecto que se está ejecutando, en la cual se describe en el anexo1 (Samayoa, 2011).

## **4.7.2 Factibilidad de ingreso al mercado**

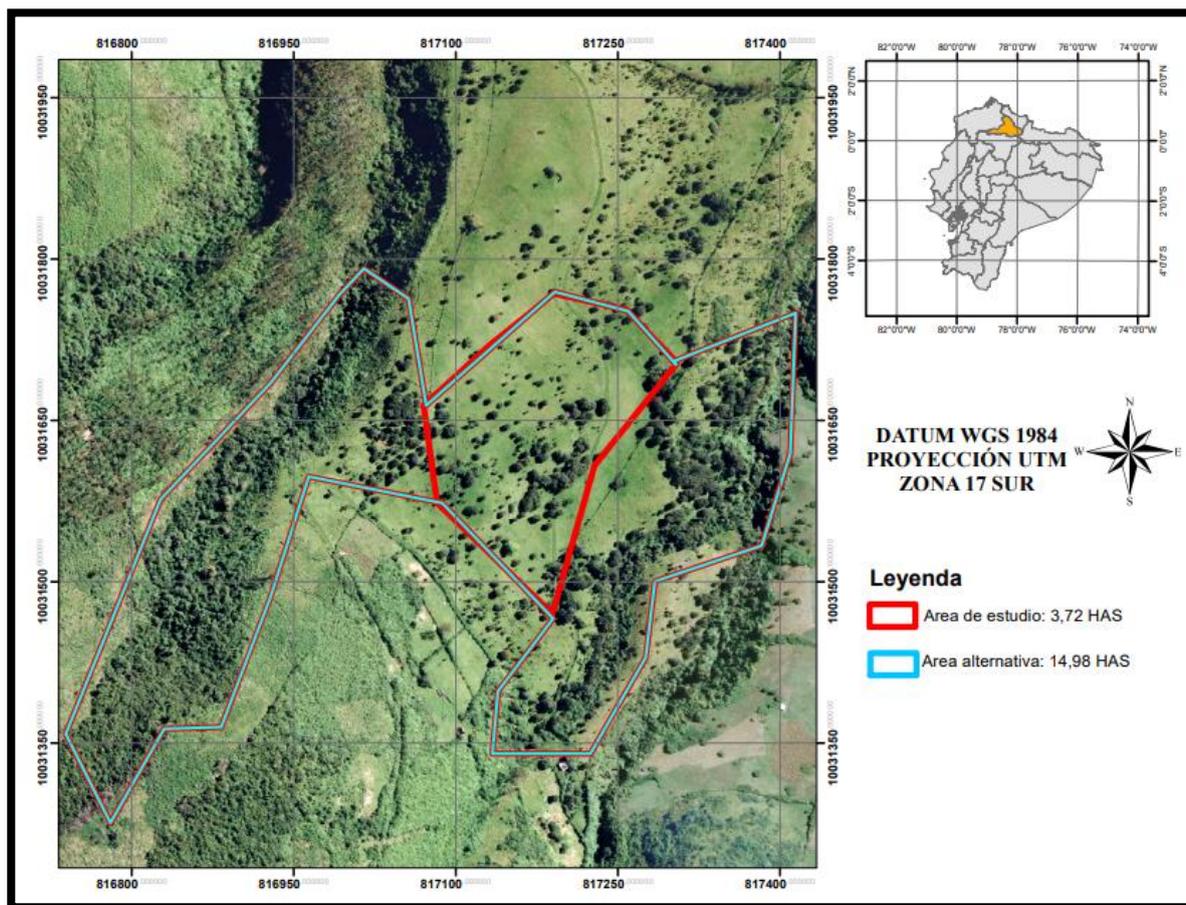
### **4.7.2.1 Análisis de requerimientos legales y datos**

El sitio de estudio tiene una superficie de 3.72 hectáreas y retiene 0.22 Mg de CO<sub>2</sub> con la especie de *Oreopanax ecuadorensis* Seem, individuos con un promedio de altura de 6 metros; datos con los cuales se realizó un análisis con los requerimientos legales para el ingreso al mercado de carbono, como tener una superficie base de 1 hectárea y además una altura mínima de 3 metros en su madurez fisiológica (Miteco, 2017). Es necesario tener una cantidad mínima de un bono de carbono, que equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> (González, 2016). Se identificó que esta investigación no cumple con todos los requerimientos establecidos (toneladas de CO<sub>2</sub>), pero si con la superficie y altura.

El país aún no registra un proyecto de venta de bonos de carbono mediante la captura de CO<sub>2</sub> de un bosque, sin embargo existen catorce proyectos privados que utilizaron otra alternativa para el ingreso al mercado, como es el caso de Petroamazonas que se dedica a la exploración y producción de hidrocarburos, en la actualidad cambiarán la tecnología de sus generadores para reducir las emisiones y poderlas vender (Petroamazonas [EP], 2010).

### **4.7.2.2 Propuesta planteada**

Si bien el bosque por sí solo no puede entrar al mercado de carbono una propuesta alternativa es que uniendo una superficie mayor mediante terrenos aledaños que tengan la especie de *Oreopanax ecuadorensis* Seem con el fin de aumentar la posibilidad de cumplir con las toneladas de carbono que se requieren para el ingreso al mercado de bonos de carbono; después de una evaluación del lugar se definió las posibles superficies que se podrían añadir, como se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** Mapa de ubicación del área de estudio y área alternativa  
Elaborado: Autoría propia

Si se conoce que en las 3.72 hectáreas se retiene 0.22 Mg de CO<sub>2</sub>, en el área alternativa de 14.98 hectáreas se calcula 0.89 Mg de CO<sub>2</sub>; por lo tanto pese a que se juntan todos los bosques se incrementa la posibilidad pero no cumple con lo establecido de retener una toneladas de CO<sub>2</sub> como base para el ingreso al mercado de carbono aunque sirve como un servicio ambiental. Para poder lograr ingresar al mercado es necesario tener mínimo una tonelada de CO<sub>2</sub> que equivale a un Mg de CO<sub>2</sub> que se obtendría en 16.91 hectáreas de *Oreopanax ecuadorense* Seem.

#### **4.7.2.1 Dinero que se podría obtener**

El precio varía con frecuencia, pero en la actualidad los bonos de carbono llegaron a 28 dólares por tonelada (Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub> [SENDECO<sub>2</sub>], 2020); al existir un mercado voluntario para la venta de carbono y que en la presente investigación se obtiene 0.22 Mg de CO<sub>2</sub> en 3.72 hectáreas, calculados con el precio de 28 dólares; costaría 6.16 dólares. Mientras que si se realiza la propuesta de ampliar las áreas con 0.89 Mg de CO<sub>2</sub> en 14.98 hectáreas se obtendría un valor de 24.92 dólares.

Estos valores son inferiores a los que las empresas internacionales necesitan, debido a que los pocos proyectos que existen en Ecuador y que fueron considerados para la venta tienen cantidades muy elevadas, un ejemplo a considerar es la venta de bonos de Petroamazonas a la empresa sueca Tricorona que fue de 1,4 millones de Mg de CO<sub>2</sub> a un valor de 30 millones de dólares (Silva S. , 2010). Por este motivo no existen posibles compradores, aun cuando se logre tener una tonelada de CO<sub>2</sub>.

## **CAPÍTULO V**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- La ecuación del trabajo permite estimar el carbono con un 94% de certeza. La variable regresora de mejor comportamiento fue la combinatoria DAP<sup>2</sup>HT, debido a las características de homogeneidad de los individuos. La ecuación sirve como una referencia para futuras investigaciones de la especie en bosques nativos de condiciones edafoclimáticas similares.
- En los mercados de carbono voluntario, para su ingreso se necesita como cantidad mínima 1 Mg CO<sub>2</sub> y 1 ha. Los bosques de *Oreopanax ecuadorensis* Seem estudiados solo cumplen con el requisito de superficie. En el caso del almacenamiento de carbono solo alcanza los 0.22 Mg CO<sub>2</sub>. Con las características del bosque son necesarias 16.91 ha de este tipo de ecosistemas para almacenar el CO<sub>2</sub> mínimo requerido por los mercados de carbono. En las zonas aledañas no se encuentra una cantidad de bosque que permita el ingreso a este mercado.

### **5.2 RECOMENDACIONES**

- Capacitar a las personas sobre la captura de carbono y las ventajas de ingresar a mercados voluntarios.
- Para entrar al mercado de carbono se propone estudiar otras áreas aledañas con nuevas especies, con el fin de cumplir con los requisitos para el ingreso al mercado de bonos de carbono.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, NOAA. (2020). *Línea Verde*. Obtenido de Línea Verde: <http://www.lineaverdeceutatrace.com/lv/guias-buenas-practicas-ambientales/cambio-climatico/que-gases-son-los-invernadero.asp#>

Amnistía Internacional [AI]. (s.f.). *El cambio climático*. Obtenido de El cambio climático: [https://www.amnesty.org/es/what-we-do/climate-change/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&gclid=Cj0KCQjw6PD3BRDPARIsAN8pHuF9KNKKiGZDjr2zUJopsKzjcVpCktnEn\\_HnK15fIgYJsy23wg0AbBUaAs7VEALw\\_wcB](https://www.amnesty.org/es/what-we-do/climate-change/?utm_source=google&utm_medium=cpc&gclid=Cj0KCQjw6PD3BRDPARIsAN8pHuF9KNKKiGZDjr2zUJopsKzjcVpCktnEn_HnK15fIgYJsy23wg0AbBUaAs7VEALw_wcB)

Baiker, J. R. (2009). *Los bosques Andinos y el Cambio Climático*. Obtenido de Los bosques Andinos y el Cambio Climático: <http://www.bosquesandinos.org/los-bosques-andinos/>

Botero, E. U. (2015). *Estudios del cambio climático en américa latina*. Obtenido de Estudios del cambio climático en américa latina: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295\\_en.pdf;jsessionid=779853E9B621985E55FC53EADF45E6C2?sequence=1](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf;jsessionid=779853E9B621985E55FC53EADF45E6C2?sequence=1)

Braga, L. (s.f.). *Dióxido de carbono*. Obtenido de Dióxido de carbono: <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/DioxiCar.htm>

Bueno, S. (2017). *Evaluación del volumen y captura de carbono mediante método no-destructivo*. Obtenido de Evaluación del volumen y captura de carbono mediante método no-destructivo: [https://www.researchgate.net/publication/313987552\\_Evaluacion\\_del\\_volumen\\_y\\_captura\\_de\\_carbono\\_mediante\\_metodo\\_no-destructivo\\_en\\_bosques\\_de\\_Caoba\\_Criolla\\_Swetenia\\_mahagony\\_en\\_la\\_Republica\\_Dominicana](https://www.researchgate.net/publication/313987552_Evaluacion_del_volumen_y_captura_de_carbono_mediante_metodo_no-destructivo_en_bosques_de_Caoba_Criolla_Swetenia_mahagony_en_la_Republica_Dominicana)

Carlos, B. H. (2015). *EVALUACIÓN DE TRES TRATAMIENTOS Y DESARROLLO DE LA ESPECIE NATIVA PUMAMAQUI*. Obtenido de EVALUACIÓN DE TRES TRATAMIENTOS Y DESARROLLO DE LA ESPECIE NATIVA PUMAMAQUI: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2514/1/T-UTC-00049.pdf>

Casanoves, F. (Dirección). (2015). *Construcción de Modelos Alométricos* [Película].

Charria, D. L. (2014). *ESTIMACIÓN INDIRECTA DE LA DENSIDAD DE LA MADERA*. Obtenido de ESTIMACIÓN INDIRECTA DE LA DENSIDAD DE LA MADERA: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v17n2/v17n2a05.pdf>

Constitución de la República del Ecuador [CPE]. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Obtenido de Constitución de la República del Ecuador: [https://www.inocar.mil.ec/web/images/lotaip/2015/literal\\_a/base\\_legal/A.\\_Constitucion\\_republica\\_ecuador\\_2008constitucion.pdf](https://www.inocar.mil.ec/web/images/lotaip/2015/literal_a/base_legal/A._Constitucion_republica_ecuador_2008constitucion.pdf)

Coyago, D. V. (2016). *PRODUCCIÓN EN VIVERO DE TRES ESPECIES FORESTALES ACACIA, ALISO Y PUMAMAQUI*. Obtenido de PRODUCCIÓN EN VIVERO DE TRES ESPECIES FORESTALES ACACIA, ALISO Y PUMAMAQUI: [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5710/1/03%20FOR%20228%20TRA\\_BAJO%20GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5710/1/03%20FOR%20228%20TRA_BAJO%20GRADO.pdf)

Descubre World Wildlife Fund [WWF]. (2019). *¿Por qué se están derritiendo los glaciares y el hielo marino?* Obtenido de ¿Por qué se están derritiendo los glaciares y el hielo marino?: <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/por-que-se-estan-derritiendo-los-glaciares-y-el-hielo-marino>

El Honorable Consejo Universitario [HCU]. (2012). *CÓDIGO DE ÉTICA DE LA UNIVERSIDAD TECNICA*. Obtenido de CÓDIGO DE ÉTICA DE LA UNIVERSIDAD TECNICA: <http://www.utn.edu.ec/legislacion/wp-content/uploads/2017/12/35.-CODIGO-DE-ETICA-UTN.pdf>

- Escobar, L. (2003). *Mercado de bonos de carbono*. Obtenido de Mercado de bonos de carbono: <http://tiempoeconomico.azc.uam.mx/wp-content/uploads/2017/07/09te2.pdf>
- Estela, M. (2019). *Ciclo del carbono*. Obtenido de Ciclo del carbono: <https://concepto.de/ciclo-del-carbono/>
- Estela, M. (2019). *Ciclo del carbono*. Obtenido de Ciclo del carbono: <https://concepto.de/ciclo-del-carbono/>
- Evaluación Nacional Forestal del Ecuador [ENF]. (2012). *MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA*. Obtenido de MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA: <https://www.ambiente.gob.ec/evaluacion-nacional-forestal-del-ecuador-enf/>
- FAO. (2013). *El calentamiento global amenaza la seguridad alimentaria mundial*. Obtenido de El calentamiento global amenaza la seguridad alimentaria mundial: <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/512600/>
- Forestal, E. (s.f.). *Bosque Nativo*. Obtenido de Bosque Nativo: <https://ecuadorforestal.org/informacion-s-f-e/bosque-forestal/bosque-nativo/>
- Fundación Reforestemos [FR]. (2015). *La importancia de los bosques nativos*. Obtenido de La importancia de los bosques nativos: <https://www.reforestemos.cl/es/2015/09/la-importancia-de-los-bosques-nativos/>
- Gómez, E. M. (2016). *El ecosistema: Equilibrio y biodiversidad*. Obtenido de El ecosistema: Equilibrio y biodiversidad: <http://museovirtual.csic.es/salas/vida/vida12.htm>
- González, D. (2016). *Bonos de carbono*. Obtenido de Bonos de carbono: <https://www.elespectador.com/noticias/economia/les-llego-hora-los-bonos-de-carbono-articulo-595060>

Hernán. (2013). *¿Cómo monitorear el secuestro de carbono?* Obtenido de *¿Cómo monitorear el secuestro de carbono?*:  
<http://www.fao.org/tempref/docrep/nonfao/lead/x6378s/x6378s00.pdf>

Instituto nacional de meteorología e hidrología [INAMHI]. (2013). *ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO*. Obtenido de *ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO*:  
[http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/bolhist/cli/2013/MENSUAL/bol\\_abr\\_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/bolhist/cli/2013/MENSUAL/bol_abr_2013.pdf)

Jara, W. (2008). *Proyectos regionales y programas de la CIER enfocados al mercado de carbono*. Obtenido de *Proyectos regionales y programas de la CIER enfocados al mercado de carbono*: <https://es.slideshare.net/ioapresentations/wilfredo-jara>

Kantor, D. (2015). *Bonos de Carbono*. Obtenido de *Bonos de Carbono*:  
<http://www.codigor.com.ar/bonosdecarbono.htm>

Kollman. (2014). *TABLERO DE PARTÍCULAS*. Obtenido de *TABLERO DE PARTÍCULAS*:  
[http://www.cscae.com/area\\_tecnica/aitim/actividades/act\\_paginas/libro/14%20Tableros%20de%20part%C3%ADculas.pdf](http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro/14%20Tableros%20de%20part%C3%ADculas.pdf)

MAE. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador*. Obtenido de *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador*: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/ESTRATEGIA-NACIONAL-DE-CAMBIO-CLIMATICO-DEL-ECUADOR.pdf>

MAE. (2013). *Sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador continental*. Obtenido de *Sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador continental*:  
<http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>

- MAE. (2014). *EVALUACIÓN NACIONAL FORESTAL*. Obtenido de EVALUACIÓN NACIONAL FORESTAL: [http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluaci%C3%B3n+Nacional+Forestal\\_NREFD+1.pdf/955aaa38-34b6-4b4d-9278-8fe915df893f](http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluaci%C3%B3n+Nacional+Forestal_NREFD+1.pdf/955aaa38-34b6-4b4d-9278-8fe915df893f)
- MAE. (2014). *PROPIEDADES ANATÓMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE 93 ESPECIES FORESTALES*. Obtenido de PROPIEDADES ANATÓMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE 93 ESPECIES FORESTALES: <http://www.fao.org/3/a-i4407s.pdf>
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2016). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de Ministerio del Ambiente: <https://www.ambiente.gob.ec/el-ministerio-del-ambiente-presento-plan-de-accion-redd-bosques-para-el-buen-vivir-la-estrategia-nacional-para-la-conservacion-de-los-bosques/>
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2017). *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. Obtenido de CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE: [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico [MTERD]. (s.f.). *Los Mecanismos de Flexibilidad*. Obtenido de Los Mecanismos de Flexibilidad: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/los-mecanismos-de-flexibilidad/>
- Miteco. (2017). *Sumideros de carbono*. Obtenido de Sumideros de carbono: [www.miteco.gob.es > temas > mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros](http://www.miteco.gob.es/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros)
- Moncayo, M. (2018). *COMPRA Y VENTA DE BONOS DE CARBONO*. Obtenido de COMPRA Y VENTA DE BONOS DE CARBONO: <https://www.naturamedioambiental.com/compra-y-venta-de-bonos-de-carbono/>

Nairobi. (2006). *Informe del taller sobre la captura y el almacenamiento de dióxido de carbono como actividades de proyectos*. Obtenido de Informe del taller sobre la captura y el almacenamiento de dióxido de carbono como actividades de proyectos : <https://unfccc.int/resource/docs/2006/cmp2/spa/03s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2006). *Los bosques y el cambio climático*. Obtenido de Los bosques y el cambio climático: <http://www.fao.org/newsroom/es/focus/2006/1000247/index.html>

Organización internacional centrada exclusivamente en la conservación de los océanos[OCEANA]. (s.f.). *Gases de efecto invernadero*. Obtenido de Gases de efecto invernadero: <https://eu.oceana.org/es/node/46897>

Ortiz. (2008). *Recopilación de ecuaciones para estimar biomasa*. Obtenido de Recopilación de ecuaciones para estimar biomasa: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11524e/A11524e.pdf>

Oyos, A. (2019). *CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE CARBONO EN PLANTACIONES DE NOGAL*. Obtenido de CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE CARBONO EN PLANTACIONES DE NOGAL: [file:///C:/Users/modelos alométricos/Desktop/TESIS/oyos/tesis%20anillados.pdf](file:///C:/Users/modelos%20alométricos/Desktop/TESIS/oyos/tesis%20anillados.pdf)

Palacios, W. (2015). *Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Obtenido de Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf>

Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2006). Obtenido de [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_05\\_Ch5\\_Cropland.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_05_Ch5_Cropland.pdf)

- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2006). *Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Obtenido de Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_05\\_Ch5\\_Cropland.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_05_Ch5_Cropland.pdf)
- Payueta, E. (s.f.). *Futuro Sostenible*. Obtenido de Futuro Sostenible: <https://futurosostenible.elmundo.es/mitigacion/asi-se-relacionan-los-desastres-naturales-con-el-cambio-climatico>
- PECS. (2017). *El Ecuador ya participa en el mercado de carbono*. Obtenido de El Ecuador ya participa en el mercado de carbono: [http://pecs.com.ec/web/index.php?option=com\\_content&view=article&id=15&Itemid=40&lang=es](http://pecs.com.ec/web/index.php?option=com_content&view=article&id=15&Itemid=40&lang=es)
- Pedro. (2014). *ANÁLISIS PROBABILISTICO*. Obtenido de ANÁLISIS PROBABILISTICO: <https://es.slideshare.net/marrco/conceptos-bsicos-de-estadistica-33745426>
- Perugachi, M. &. (2016). *Propuesta de utilización de bonos de carbono como medio de financiamiento*. Obtenido de Propuesta de utilización de bonos de carbono como medio de financiamiento: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11622>
- Petroamazonas [EP]. (2010). Obtenido de <https://www.petroamazonas.gob.ec/?p=134>
- Picard, N. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles*. Obtenido de Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: <http://www.fao.org/3/i3058s/i3058s.pdf>
- Pinza, D. (2018). *Estimación del carbono acumulado en el parque universitario Francisco Vivar Castro*. Obtenido de Estimación del carbono acumulado en el parque universitario Francisco Vivar Castro: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v25n3/a07v25n3.pdf>

Renovables, Asociación de Empresas de Energías [APPA]. (s.f.). *¿Qué es la biomasa?* Obtenido de *¿Qué es la biomasa?*: <https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/>

Rudnick, H. (2011). *MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO*. Obtenido de MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO : [http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno11/CO2/Site/Mecanismos\\_de\\_Desarrollo\\_Limpio\\_%28MDL%29.html](http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno11/CO2/Site/Mecanismos_de_Desarrollo_Limpio_%28MDL%29.html)

Ruiz, X. (2015). *EL PAPEL DE LA UNIÓN EUROPEA EN LAS NEGOCIACIONES SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Obtenido de EL PAPEL DE LA UNIÓN EUROPEA EN LAS NEGOCIACIONES SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-74789/UNISCIDP39-4XIRA.pdf>

Samayoa, S. (2011). *Mercado de carbono oportunidades para proyectos de pequeña escala*. Obtenido de Mercado de carbono oportunidades para proyectos de pequeña escala: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/CF1F3D1F3D8BBADB05257C290072D01F/\\$FILE/Mercado\\_de\\_carbono\\_oportunidades\\_para\\_proyectos.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/CF1F3D1F3D8BBADB05257C290072D01F/$FILE/Mercado_de_carbono_oportunidades_para_proyectos.pdf)

Sánchez, O. (s.f.). *LA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA*. Obtenido de LA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6152/08CAPITOL6.pdf?seq>

Schwartz, J. (2018). *Más inundaciones y sequías extremas a causa del cambio climático*. Obtenido de Más inundaciones y sequías extremas a causa del cambio climático: <https://www.nytimes.com/es/2018/12/14/espanol/cambio-climatico-inundaciones-sequias.html>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES]. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021*. Obtenido de Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021: [https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf)

- Segura, & A. (2008). *Cómo construir modelos alométricos*. Obtenido de *Cómo construir modelos alométricos*: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3127e/A3127e.pdf>
- Silva, C. (2019). *Consecuencias del cambio climático, efectos a nivel global*. Obtenido de *Consecuencias del cambio climático, efectos a nivel global*: <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/sostenibilidad/consecuencias-del-cambio-climatico/>
- Silva, S. (2010). *Estatad Ecuador firma venta bonos de carbono con empresa sueca*. Obtenido de *Estatad Ecuador firma venta bonos de carbono con empresa sueca*: <https://www.reuters.com/article/petroleo-ecuador-carbono-idARN0218295620100602>
- Sistema Europeo de Negociación de CO2 [SENDECO2]. (2020). *Precios CO2*. Obtenido de *Precios CO2*: <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>
- Tabango. (2020). *Determinar la cantidad de carbono aéreo almacenado en dos sistemas agroforestales de composición y estructura diferente*. Obtenido de *Determinar la cantidad de carbono aéreo almacenado en dos sistemas agroforestales de composición y estructura diferente*.: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10386>
- Tipaz, G. (2011). *ESTABLECIMIENTO DE PROTOCOLO DE REGENERACIÓN DE PUMAMAQUI Oreopanax ecuadorensis*. Obtenido de *ESTABLECIMIENTO DE PROTOCOLO DE REGENERACIÓN DE PUMAMAQUI Oreopanax ecuadorensis*: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/136/3/03%20REC%2094%20TESIS.pdf>
- Topographic-map. (s.f.). *Visualización y compartición de mapas topográficos*. Obtenido de *Visualización y compartición de mapas topográficos*: <https://es-ec.topographic-map.com/maps/9sqc/Caranqui/>
- Trujillo. (2018). *Estimación del carbono en una parcela permanente*. Obtenido de *Estimación del carbono en una parcela permanente*:

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2413-32992018000300007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992018000300007&lng=es&nrm=iso)

Vallejo. (2005). *Medición de alturas* . Obtenido de Medición de alturas : <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022101/PARTE5.pdf>

Vallejo, R. (2017). *DISEÑO DE UN PLAN DE PROMOCIÓN PUBLICITARIA PARA LA PARROQUIA DE CARANQUI*. Obtenido de DISEÑO DE UN PLAN DE PROMOCIÓN PUBLICITARIA PARA LA PARROQUIA DE CARANQUI: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15799/1/T-UCE-0009-CSO-021.pdf>

Vázquez, J. (2016). *Pumamaqui: características,hábitat, ecología y usos*. Obtenido de Pumamaqui: características,hábitat, ecología y usos: <https://www.lifeder.com/pumamaqui-oreopanax/>

Young. (2015). *Los bosques altoandinos de clima frío*. Obtenido de Los bosques altoandinos de clima frío: <http://www.secretosparacontar.org/Lectores/Contenidosytemas/Losbosquesaltoandinosdetierrasaltasoclima.aspx?CurrentCatId=228>

Yvanosky, J. (s.f.). *Pumamaqui: características,hábitat, ecología y usos*. Obtenido de Pumamaqui: características,hábitat, ecología y usos: <https://www.lifeder.com/pumamaqui-oreopanax/>

## 7. ANEXOS

### 7.1 Anexo A - Tabla

Tabla A1 Biomasa total de árboles del bosque nativo de Pumamaqui

<b>BIOMASA TOTAL PUMAMAQUI (kg)</b>	
<b><math>\bar{X}</math></b>	49.690
<b>S</b>	14.724
<b>SX</b>	2.945
<b>CV</b>	30

*Nota:  $\bar{X}$ : Medias; S: Desviación estándar; SX: Error estándar; CV: Coeficiente de variación*

## 7.2 Anexo B – CARTA DE AVAL GUBERNAMENTAL

Ibarra, 02 de febrero del 2020

Asunto: Solicitud para la venta de bonos de carbono

MAAE

Entidad gubernamental

Se solicita cordialmente a la entidad gubernamental MAAE que el proyecto de comercialización de bonos de carbono con la especie *Oreopanax ecuadorensis* Seem pueda ser parte del desarrollo y contribución en el mercado de venta de bonos de carbono, con el fin de promover la importancia de mantener el área forestal en zonas rurales y obtener un aporte económico por esta actividad siguiendo el reglamento establecido por la Asociación Internacional de Comercio de Emisiones, además de ser parte al desarrollo de proyectos que otorguen un progreso financiero e innovador en el país.



Diego Carlosama

1003495205

### 7.3 Anexo C – Figuras

#### *C1 Fotografías de campo*



Fotografía 1 Toma de coordenadas para el mapa



Fotografía 2 Toma de datos para formar las ecuaciones



Fotografía 3 Toma de muestra de fuste



Fotografía 4 Toma de dimensiones de parcelas

*C2 Fotografías de laboratorio*



Fotografía 5 Peso de muestras en verde



Fotografía 6 Secado en estufa



Fotografía 7 Peso de muestras en seco