



# **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**

**ESTIMACIÓN DE CARBONO AÉREO EN BOSQUES SECOS DE DOS  
PARROQUIAS UBICADAS EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MIRA**

**AUTOR**

Christian David Terán Muenala

**DIRECTOR**

Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, Mgs.

**IBARRA – ECUADOR**

2022

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

## ESTIMACIÓN DE CARBONO AÉREO EN BOSQUES SECOS DE DOS PARROQUIAS UBICADAS EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MIRA

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

**INGENIERÍA FORESTAL**

**APROBADO**

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



Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.  
**Tribunal de trabajo de titulación.**



Dr. Jorge Luis Cue García, PhD.  
**Tribunal de trabajo de titulación.**



JORGE LUIS  
CUE GARCIA

Ibarra-Ecuador

2022

## 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:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>	
<b>Cédula de ciudadanía:</b>	100329827-8
<b>Nombres y apellidos:</b>	Terán Muenala Christian David
<b>Dirección:</b>	Peguche-Otavalo
<b>Email:</b>	<a href="mailto:3davidtm@gmail.com">3davidtm@gmail.com</a>
<b>Teléfono móvil:</b>	0983989996

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>Título:</b>	<b>ESTIMACIÓN DE CARBONO AÉREO EN BOSQUES SECOS DE DOS PARROQUIAS UBICADAS EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MIRA</b>
<b>Autor:</b>	Christian David Terán Muenala
<b>Fecha:</b>	11/02/2022
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN</b>	
<b>Programa:</b>	Pregrado
<b>Título por el que opta:</b>	Ingeniería Forestal
<b>Director:</b>	Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, Mgs.

## 2. CONSTANCIA

El autor manifiesta 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 es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de febrero de 2022

### EL AUTOR:



Christian David Terán Muenala  
C.C.: 100329827-8

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado a mi familia. A mi madre María Muenala, por el gran sacrificio y ejemplo que demostró a pesar de las circunstancias difíciles, el cual me motivó a continuar una y otra vez. A mi hermana Soledad Terán, por el apoyo brindado y palabras de aliento para continuar. A mi padre Jaime Terán, que hasta su último día de vida me enseñó lo importante de prepararse y seguir adelante.*

## AGRADECIMIENTO

*Le doy un agradecimiento a Dios y en sí a todas las personas que de alguna u otra manera fueron de gran ayuda para culminar este trabajo.*

*A mi familia por el apoyo y acompañamiento durante todo el proceso de este trabajo y la carrera.*

*A los miembros del tribunal Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs. y Mgs. Dr.. Jorge Luis Cue García. PhD. Además, a mi director Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, por todo el apoyo brindado para la culminación de este trabajo.*

*A mis amigas Rosita Carlosama y Jessica Huera por brindarme su valioso tiempo y acompañamiento en la realización de la tesis.*

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

PORTADA .....	i
APROBACIÓN .....	ii
IDENTIFICACION DE LA OBRA .....	iii
CONSTANCIA .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos .....	3
1.1.1. General .....	3
1.1.2. Específicos .....	3
1.2. Hipótesis .....	3
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. Fundamentación Legal .....	4

2.1.1. Constitución de la República del Ecuador .....	4
2.1.3. Código Orgánico del Ambiente .....	4
2.1.2. Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 .....	5
2.1.4. Código de Ética de la Universidad Técnica del Norte.....	5
2.2. Línea de investigación .....	5
2.3. Fundamentación teórica.....	5
2.3.1. Bosque .....	5
2.3.2. Bosque seco .....	7
2.3.3. Servicios ecosistémicos .....	8
2.3.4. Ciclo del carbono .....	9
2.3.5. Carbono.....	11
2.3.6. Biomasa .....	11
2.3.7. Ecuaciones alométricas.....	14
2.3.8. Estudios relacionados .....	15
 <b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1. Características del sitio.....	21
3.1.1. Ubicación Política.....	21
3.1.2. Datos geopolíticos .....	21
3.1.3. Datos climáticos.....	23
3.2. Materiales, equipos y softwares.....	23



3.3. Metodología.....	23
3.3.1. Fase de campo.....	23
3.3.2. Cálculos .....	27
3.3.3. Biomasa total .....	30
3.3.4. Determinación del carbono.....	32
3.3.5. Selección de ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea... 33	
3.3.6. Comparación de contenido de carbono fijo .....	35

## CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
4.1. Inventario forestal.....	36
4.1.1. Densidad básica.....	37
4.2. Biomasa área.....	38
4.2.1. Extrapolación.....	38
4.3. Carbono capturado.....	40
4.4. Construcción de modelos.....	42
4.4.1. Modelos alométricos de otros autores .....	44
4.5. Comparación de contenido de carbono .....	46

## CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	48
5.1. Conclusiones.....	48
5.2. Recomendaciones .....	49

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
ANEXOS .....	61

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Materiales, equipos y softwares utilizados.....	23
Tabla 2 Estadísticas de las variables .....	36
Tabla 3 Densidad básica de las especies arbóreas.....	37
Tabla 4 Biomasa aérea.....	38
Tabla 5 Extrapolación de la biomasa.....	39
Tabla 6 Carbono fijo.....	40
Tabla 7 Modelos alométricos para estimación de carbono .....	42
Tabla 8 Modelos alométricos de otros autores .....	44
Tabla 9 Comparación de carbono fijo .....	46
Tabla 10 Hoja para toma de datos .....	61
Tabla 11 Individuos en regeneración natural del bosque de La Concepción.....	62
Tabla 12 Individuos en regeneración natural del bosque de Tumbabiro.....	63

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Bosque seco de Tumbabiro .....	22
Figura 2 Bosque seco de La Concepción .....	22
Figura 3. Diseño de parcelas .....	24
Figura 4. Diseño de fajas .....	25
Figura 5. Parcela anidada 1 .....	25
Figura 6. Parcela anidada 2 .....	26
Figura 7. Parcela anidada 3 .....	26
Figura 8 Valores observados vs predichos .....	43
Figura 9 Valores observados vs predichos de otros autores del bosque de Tumbabiro...45	
Figura 10 Valores observados vs predichos de otros autores del bosque de La Concepción .....	45

**TÍTULO: ESTIMACIÓN DE CARBONO AÉREO EN BOSQUES SECOS DE DOS PARROQUIAS UBICADAS EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MIRA.**

**Autor:** Christian David Terán Muenala

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

**Año:** 2022

**RESUMEN**

La humanidad actualmente se enfrenta al calentamiento global, el cual genera cambios climáticos debido al incremento de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>. La estimación de carbono de las plantas genera oportunidades de nuevas y sostenidas políticas con actividades en base al uso sostenible de los recursos y de esta manera la mitigación del cambio climático. La presente investigación tuvo como objetivo determinar la cantidad de carbono aéreo almacenado en bosque seco de las dos parroquias ubicadas en la cuenca media del río Mira en función de variables de un inventario. El estudio se dividió en dos fases, la primera en el campo, en un predio de 10,3 ha ubicado en la parroquia de Tumbabiro y un segundo predio de 10,8 ha ubicado en La Concepción de las que se tomaron datos como dap, altura, densidad básica, y recolección de muestras de biomasa en parcelas de 30 x 30 m en forma de L metodología utilizada por la Evaluación Nacional Forestal. La segunda fase de laboratorio, se lo realizó en la Xiloteca de la Granja Experimental de Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte. Se obtuvo un total de carbono almacenado de 14,01 Tn por hectárea en el bosque de Tumbabiro y 55,4 Tn por hectárea en el bosque de La concepción. Los valores difieren debido a factores como la gradiente, las condiciones climáticas, las actividades humanas, la edad de los individuos, las especies y la estructura de los bosques secos.

**Palabras clave:** biomasa, calentamiento global, cambio climático, mitigación

**TÍTULO: ESTIMATION OF AERIAL CARBON IN DRY FORESTS OF TWO PARISHES LOCATED IN THE MIDDLE BASIN OF THE MIRA RIVER.**

**Author:** Christian David Terán Muenala

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

**Year:** 2022

**ABSTRACT**

Humanity is currently facing global warming, which generates climatic changes due to the increase in greenhouse gases such as CO<sub>2</sub>. The estimation of carbon from plants generates opportunities for new and sustained policies with activities based on the sustainable use of resources and thus the mitigation of climate change. The research had as objective to determine the quantity of aerial carbon stored in the dry forest of two parishes located in the middle basin of the Mira river, in the function of inventory variables. The study was divided into two phases. First, the field phase was carried out in a property with an area of 10.3 ha located in Tumbabiro parish, and a property with an area of 10.8 ha located in La Concepcion parish. In both properties, data such as dbh, height, basic density, and collection of biomass samples were taken in plots of 30 x 30 m, shaped like L, like the methodology used in the National Forest Evaluation. Second, the laboratory phase was carried out in the Xylotheque at Yuyucocha Experimental Farm of Universidad Técnica del Norte. A total stored carbon of 14.01 Tn per hectare was obtained in Tumbabiro forest and 55.4 tons per hectare in La Concepción forest. Values differ due to factors such as climatic conditions, human activities, age of individuals, species, and the dry forest structure.

**Keywords:** biomass, global warming, climate change, mitigation.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

En el mundo un 40% de la superficie terrestre tropical y subtropical se encuentra dominado por bosques, y de esta superficie, el 42% corresponde a bosque seco tropical, de la misma forma en Sudamérica ocupa el 22% del área forestal (Ramírez Flores, Aranda Delgado, & Gray Rico, 2018).

Los bosques secos se encuentran en el centro y sur de la región occidental de los Andes originalmente con 28.000 km<sup>2</sup> de extensión pero se estima que el 50% habría desaparecido (Sierra *et al*, 1999) citado por (Aguirre, 2012), en otra investigación el total de bosque seco en el Ecuador es de 569.657 ha (Añazco, Morales, Palacios, Vega, & Cuesta, 2010).

El bosque seco de valles interandinos o Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los valles tiene una superficie de 21.686,46 ha (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Imbabura[PDOTIMBABURA], 2015-2035), mientras que en la provincia del Carchi tiene una superficie de 7.756 ha (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Carchi [PDOTCARCHI], 2015-2019).

El planeta se enfrenta actualmente al calentamiento global que a su vez genera cambios climáticos debido al incremento de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>. Los ecosistemas naturales son los principales en degradarse, disminuyendo su capacidad de prestar servicios ambientales a la humanidad. Los componentes del ecosistema que se ha visto afectado es el suelo tanto en la parte física como química y a su vez la biomasa aérea proveniente de la cobertura vegetal (Carrera, Guachi, 2018). Sin la conservación de estos bosques no se puede contrarrestar los niveles de CO<sub>2</sub>, al contrario, seguirá en aumento.

Estos ecosistemas frágiles y presionados por la población humana asentada, vive y desarrolla sus actividades productivas en sus territorios, aprovechando sus productos forestales maderables y no maderables (Aguirre, 2012). Así pues, se puede apreciar un gran impacto hacia estos bosques.

El avance de la frontera agrícola provoca el deterioro y erosión de estos ecosistemas que son utilizadas después para otro tipo de uso de suelo o abandono de estos sitios, el cual genera un ciclo de destrucción de estos ecosistemas. Además, los pobladores de las comunidades desconocen de las potencialidades del bosque, especialmente en aspectos de prestación de servicios ambientales como el almacenamiento de carbono (Aguirre, 2017).

El estudio de la biomasa o secuestro de carbono tiene una gran importancia, ya que se puede generar más investigaciones para alcanzar el mayor beneficio posible del ecosistema. Los bosques y demás ecosistemas locales, nacionales e internacionales son necesarios para la sobrevivencia humana, el desarrollo socioeconómico, la lucha contra la pobreza, la conservación de la biodiversidad y del medio ambiente (Quimis, 2016).

Así que conocer la diversidad biológica de estos bosques, resulta prioritario para poder desarrollar acciones de conservación efectivas (Espinosa *et. al.*, 2012) citado por (Quishpe, 2015).

La captura de carbono genera la oportunidad de nuevas y sostenidas políticas con actividades en base al uso sostenible de los recursos para presentes y futuras generaciones (Aguirre, 2012). En la actualidad existen mercados de carbono a las que se puede acceder mediante el cálculo de las mismas y recibir un pago por conservación o bonos de carbono basado en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del protocolo de Kioto (Al Costa, 2013) (Aguirre, 2017).



## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 General**

Determinar la cantidad de carbono aéreo almacenado en bosque seco de las dos parroquias ubicadas en la cuenca media del río Mira en función de variables de un inventario.

### **1.1.2 Específicos**

- Calcular la biomasa y carbono del ecosistema de bosque seco en las dos parroquias.
- Seleccionar el modelo alométrico de mejor ajuste para la estimación de carbono en los bosques.
- Determinar las diferencias de carbono aéreo almacenado en los bosques secos de las parroquias.

## **1.2 Hipótesis**

### **1.2.1 Hipótesis nula $H_0$**

La cantidad de carbono aéreo es similar en los dos bosques a estudiarse.

### **1.2.2 Hipótesis alternativa $H_1$**

La cantidad de carbono aéreo presenta diferencias significativas entre los dos bosques a estudiarse.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fundamentación legal

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

Art.414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de la deforestación; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación (Constitución de la Republica del Ecuador[CRE], 2018).

##### 2.1.2 Código Orgánico del Ambiente

La investigación se basa en los siguientes artículos:

Art. 249.- Prioridades en la gestión del cambio climático. Las medidas y acciones para la gestión del cambio climático, considerarán prioritariamente reducir y minimizar las afectaciones causadas a los ecosistemas y a la biodiversidad (Código Orgánico del Ambiente [CODA], 2017).

Art. 257.- Para las acciones de mitigación se implementarán, entre otras, aquellas tendientes a reducir emisiones de gases de efecto invernadero, incrementar sumideros de carbono y crear condiciones favorables para la adopción de dichas acciones en los sectores priorizados e impulsar iniciativas que se realicen sobre este tema de conformidad con los acuerdos internacionales ratificados por el Estado (CODA, 2017).

Art. 259.- Para el desarrollo de las medidas de mitigación del cambio climático se tomarán en cuenta criterios como promover patrones de producción y consumo que disminuyan y estabilicen las emisiones de gases de efecto invernadero, y contribuir a

mejorar la calidad ambiental para fortalecer la protección y preservación de la biodiversidad, los ecosistemas (CODA, 2017).

### **2.1.3 Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025.**

**Objetivo 11:** Conservar, restaurar, proteger y hacer uso sostenible de los recursos naturales.

**Política 11.1:** Promover la protección y conservación de los ecosistemas y su biodiversidad; así como, el patrimonio natural y genética nacional.

**Meta: 11.1.1:** Mantener la proporción de territorio nacional bajo conservación o manejo ambiental en 16,45%. (Secretaría Nacional de Planificación [SNP], 2021).

### **2.1.4 Código de ética de la Universidad Técnica del Norte**

Art 1.- El código de ética tiene como finalidad contribuir al mejoramiento del comportamiento de los integrantes de la comunidad dentro y fuera de la Universidad, valorando el talento humano para que asuma sus responsabilidades bajo los principios de eficacia, calidad y transparencia.

## **2.2 Línea de investigación**

Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

## **2.3 Fundamentación teórica**

### **2.3.1 Bosque**

El bosque es un sistema en equilibrio que está compuesto en su mayoría con material leñoso. Desde mucho tiempo atrás al bosque se le considera como un ecosistema, formado

por plantas leñosas con capacidad de colonizar el territorio y dominar el paisaje (Cordero, 2001) citado por (Bajaña, 2016).

García (2011), define la palabra bosque del latín *boscus* que significa sitio poblado de árboles y matas, siendo los árboles el ente más definitorio pues las matas se encuentran mayoritariamente en otro tipo de formaciones vegetales.

El bosque constituye una unidad ecosistémica formada por árboles, arbustos y demás especies vegetales y animales resultado de un proceso ecológico espontáneo que interrelaciona otros recursos como el agua, la biodiversidad, el suelo, el aire, el paisaje, etc. (Barrantes, Chaves, & Vinuesa, 2001).

De igual manera se la define como tierra que se extiende por más de 0,5 hectáreas dotada de árboles de una altura superior a 5 metros una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura[FAO], 2014).

Es un tipo de hábitat, un ecosistema que viene determinado por el tipo de suelo, la orografía del terreno, los cursos de agua y las distintas especies de plantas, animales y microorganismos que habitan en él (Real Jardín Botánico [CSIC], 2011).

El bosque es una comunidad vegetal natural o cultivada de por lo menos una hectárea, con árboles de al menos de cinco metros de altura y con un mínimo de treinta por ciento de cobertura del dosel o capa aérea vegetal (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2017).

Son formaciones de árboles, arbustos y demás especies vegetales debidas a un proceso biológico espontáneo (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2004).

### 2.3.2 Bosque seco

El bosque seco tropical en su mayoría posee suelos aptos para cultivos, razón por la cual reciben más impacto que los bosques húmedos (Janzen, 1988) citado por (Aguirre, Kvist, & Sánchez, 2006) y (Paladines, 2003). Además, brindan servicios ecosistémicos y de sustento (Maass et al., 2005; Miles et al., 2006) citado por (Powers, 2019).

Es una zona de vida que se la considera estratégica para su conservación por sus beneficios socio ambientales e importancia ecológica, que para un contexto nacional resulta ser uno de los ecosistemas más amenazados por acciones antrópicas (Zuluaga & Castro, 2018) (López, Pérez, & Mariscal, 2015).

Estos bosques se distinguen por una menor precipitación, pero la lluvia que reciben es durante estaciones húmedas que se alternan con las estaciones secas cuya consecuencia es una abundancia de especies caducifolias (Murphy & Lugo, 1986) citado por (Powers, 2019).

El bosque seco está dominado por árboles de hojas anchas, de baja altura a menudo con espinas, que pierden sus hojas durante la época seca, en donde las lluvias son escasas, el 75% de las especies vegetales pierden temporalmente sus hojas (Aguirre, 2012). También, presenta organismos endémicos adaptados y con alta especialización (Ramírez Flores, Aranda Delgado & Gray Rico 2018).

Estos ecosistemas se encuentran influenciados por el cambio de uso de suelo y la topografía, que juegan un papel preponderante en los procesos biogeoquímicos y por lo tanto en el ciclo global del carbono (Acosta, Quednow, Etchevers, & Monreal, 2001).

Los bosques secos son recientemente objetos de estudio desde el punto de vista florístico y de vegetación. Mientras que, la parte productiva y valoración de los servicios ambientales que provee se han descuidado, algo muy importante para poder ejecutar proyectos productivos para el mejoramiento de la población local por parte de instituciones públicas y privadas (Aguirre, Erazo & Granda 2017).

### 2.3.3 Servicios ecosistémicos

Los servicios ambientales se pueden definir como el conjunto de condiciones y proceso naturales, incluyendo especies y genes, que la sociedad puede utilizar y que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia (Torres & Guevara, 2002).

Los ecosistemas proveen varios servicios ambientales, siendo uno de ellos, el servicio ambiental captura de carbono, que es poco conocido y valorado (Aguirre 2017).

Varios de los servicios son importantes de mencionar como la lucha contra la desertificación, la protección de las cuencas hidrográficas, la regulación del clima, la conservación de la diversidad biológica, el mantenimiento de los valores sociales y culturales, y un papel muy importante que abarca esta investigación es el de hacerle frente a los problemas generados por el cambio climático mediante el secuestro de carbono (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura[FAO], 2010) citado por (Medina, 2018). Igualmente, (Panel Intergubernamental del Cambio Climático[IPCC], 2014) destaca la protección de los ecosistemas para que proporcionen servicios de almacenamiento de carbono.

En los bosques secos en general se desconoce el valor que implica la provisión de servicios ambientales como belleza escénica, protección de los recursos hídricos, refugio de especies, polinización, control biológico, protección de la biodiversidad, ecosistemas y formas de vida. Además, la captura de carbono, para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (Aguirre, 2017).

### 2.3.4 Ciclo del carbono

A todo el planeta puede tomarse como un sistema ecológico unificado y analizar así las transferencias de materiales a nivel de la ecósfera (Sarmiento, 1984) citado por (Cañarte, 2014).

La capacidad de absorción del suelo y océanos fue conocida desde mucho tiempo, pero la determinación de que los bosques son sumideros de carbono de las emisiones de combustibles fósiles fue a partir de 1976 (Yáñez Sandoval, 2004) y (Duque, 2017).

El carbono se almacena en compartimientos llamados depósitos y circula activamente entre ellos, de estos depósitos, los océanos, son los que almacenan mayor cantidad con 38,000 Giga toneladas seguido por el suelo 1,500 Giga toneladas, la atmósfera 750 Giga toneladas y las plantas 560 Giga toneladas. Cualquier desequilibrio entre los flujos de entrada y salida se refleja en la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico (Casanova, Petit & Solorio, 2011).

El carbono es reciclado entre la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre en forma de compuestos orgánicos e inorgánicos, en su mayoría como dióxido de carbono (Pardos, 2010).

#### 2.3.4.1 *Gases de efecto invernadero, CO<sub>2</sub> y Captura de carbono*

La atmósfera está formada por nitrógeno, oxígeno y argón, junto con otros gases en más bajas concentraciones: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) conocidos como gases de efecto invernadero. Absorben y emiten radiaciones dentro del espectro de la radiación infrarroja térmica emitida por la superficie terrestre (Pardos, 2010). Este efecto permite la vida en la tierra, manteniendo una temperatura estable a través del calentamiento de la atmósfera (Garduño, 2004) citado por (Pineda, Ortiz, & Sánchez, 2005).

El CO<sub>2</sub> juega un papel muy importante en el calentamiento global a causa del aumento de su volumen cada año y su tiempo de estadía en la atmósfera (Casanova, Petit, & Solorio, 2011).

El carbono se mueve principalmente por dos procesos, el primero es la fotosíntesis, en la que plantas, algas y algunas bacterias absorben el CO<sub>2</sub> y la luz para fabricar azúcares y liberar oxígeno (Pimienta, Cabrera, Oscar, & Hernández, 2007). El segundo proceso es la respiración, la cual es análoga a la quema de combustibles fósiles, pues los azúcares fabricados en la fotosíntesis son el combustible que se quema al interior de las plantas y de todos los organismos para proveerles la energía que necesitan para crecer y sobrevivir; al ser quemados los azúcares se libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Arellano Martin & Andrade, 2016).

La captura de carbono se realiza únicamente durante el estado de desarrollo de los árboles, los cuales absorben CO<sub>2</sub> atmosférico junto con otros elementos en el suelo y del aire, para convertirlos en biomasa expresada principalmente en forma de madera (Melo, 2015) citado por (Aguirre, 2017).

Tiene mucha importancia los ecosistemas terrestres y el gran papel que tiene la vegetación para captar el dióxido de carbono atmosférico a través de la fotosíntesis, para incorporarlo a las estructuras vegetales y reducir la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, mitigando, en el largo plazo, el cambio climático (Ordoñez, 2008).

Las empresas y agencias de gobierno de diferentes países están considerando planes para establecer plantaciones, mejorar el manejo de bosques y preservar bosques naturales, que comprende la fijación del CO<sub>2</sub> como biomasa sobre la superficie terrestre, principalmente por las plantas que son las que lo utilizan en el proceso de la fotosíntesis, para contrarrestar las emisiones de gases de efecto invernadero (Díaz, y otros, 2007), (Schlegel, Gayoso, & Guerra, 2001).



### **2.3.5 Carbono**

El carbono es un elemento químico de número atómico 6, abundante en la naturaleza, tanto en los seres vivos, mundo minero y en la atmósfera, puede presentarse en forma de diamante y de grafito, constituye la base de la química orgánica y tiene gran importancia biológica (Real Academia Española [RAE], 2020). Es un elemento químico sólido y no metálico presente en todos los componentes orgánicos y algunos inorgánicos (Medina, 2018).

Las sustancias inorgánicas sólidas más abundantes son los carbonatos presentes en múltiples minerales. Entre las sustancias gaseosas, el carbono se encuentra como dióxido de carbono en la atmósfera de la tierra y también en el Sol, estrellas y cometas. El petróleo está constituido por hidrocarburos y otras sustancias análogas. Todos los compuestos que involucran reacciones químicas en los seres vivos contienen carbono en forma de vitaminas, proteínas, grasas, azúcares, ácidos nucleicos (Fundación Polar, 2018).

El carbono es la unidad principal de la vida del planeta y su ciclo es fundamental para el desarrollo de todos los organismos (Casanova, Petit & Solorio, 2011).

### **2.3.6 Biomasa**

Los árboles y plantas verdes usan la radiación solar para sintetizar compuestos orgánicos a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico, agua y nutrientes del suelo o transportados desde otros órganos de la planta, mediante el proceso de la fotosíntesis. Estos compuestos una vez sintetizados se utilizan para mantener los propios tejidos de la planta o para formar nuevos tejidos y crecer. Este proceso se manifiesta a través del crecimiento y se expresa como biomasa (Álvarez, 2008) citado por (Duque, 2017).

La biomasa se puede estimar en un inventario mediante cinco componentes: árboles vivos, muertos en pie, tocones, hojarasca, sotobosque, madera caída y raíces (MAE, 2014).

La biomasa es un elemento principal para determinar la cantidad de carbono almacenado en el bosque, da a conocer el ciclo del carbono a nivel global, por lo que constituye un elemento importante para estudios de cambio climático (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura[FAO], 2015) citado por (Jumbo Salazar, Arévalo Delgado & Ramírez-Cando 2018).

La biomasa forestal se define como el peso de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo, es el resultado del proceso fotosintético para obtener los elementos nutritivos existentes en el medio, utilizando la energía solar. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco (Medina, 2018).

La Biomasa se define como la cantidad total de materia orgánica viva sobre el suelo en los árboles expresada como toneladas secas al horno por unidad de área (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura[FAO], 1997). La planta verde a través de la fotosíntesis separa los átomos de oxígeno del átomo del carbono, el oxígeno es devuelto a la atmósfera y el carbono se utiliza para formar biomasa, en teoría el efecto de la captura de carbono puede ser cuantificado estimando el almacenamiento de carbono en la biomasa forestal. Entonces, es interesante conocer las posibilidades de captura de C en bosques caducifolios para planificar su manejo y defender su conservación (Gallardo & González, 2007).

### 2.3.6.1 *Biomasa aérea*

Concretamente la biomasa aérea es toda la vegetación viva, sea madera o herbácea, que se encuentra sobre el suelo (FAO, 2010), aquí incluyen tallos, copas, ramas, corteza, semillas y follaje (Benjamín, 2001).

### 2.3.6.2 *Métodos de obtención de la biomasa*

Existen varias formas de estimar la biomasa, pero a la vez hay que tomar en cuenta las posibilidades del investigador. Los altos costos para estimar la captura de carbono nos permite buscar métodos sencillos, fáciles de usar y de bajo costo (Schlegel, 2001) citado por (Maza, 2019).

La biomasa puede ser estimada mediante dos métodos: directo e indirecto, los primeros involucran procedimientos destructivos consistentes en cortar las plantas y determinar su biomasa, secando y pesando cada componente, en los indirectos se utilizan técnicas de cubicación del árbol (Ramirez, Dupuy, Ramirez, & Solorio, 2017), donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras frescas, se secan y pesan, para calcular factores de conversión del volumen a peso seco, a través de gravimetría (MAE, 2014). Otra forma indirecta es a través de ecuaciones alométricas basadas en análisis de regresión lineal o no lineal con variables como el diámetro normal y la altura total de cada árbol (Torres-Torres, Mena-Mosquera, & Álvarez-Dávila, 2017). Además, en un estudio en Bolivia agrega un tercer método por sensores remotos (Medina, 2018).

Las ecuaciones con base en el modelo alométrico linealizado mediante logaritmo natural tiene mayor confiabilidad, donde concuerdan la mayoría de autores, y que puede ser utilizadas para la estimación de biomasa arbórea aérea con un promedio el 70% del carbono almacenado, sin considerar el carbono acumulado en el suelo (Maza, 2019).

La biomasa se la puede obtener a través de diferentes correlaciones entre los datos de masa seca y los obtenidos en campo durante el inventario forestal como diámetro del fuste, altura, densidad de la madera (Calderón et al., 2014) citado por (Pardos, 2010).

### **2.3.7 Ecuaciones Alométricas**

Las ecuaciones alométricas son una herramienta estadística Rüginitz et al. (2009) citado por Aguirre (2017) que permiten estimar el volumen, biomasa o el carbono (VBC) de los árboles en función de variables de fácil medición como el dap (Ministerio del Ambiente [MAE], 2012).

Dependiendo del número de variables independientes las ecuaciones puede ser una regresión lineal simple o una regresión lineal múltiple. Y según las circunstancias las ecuaciones pueden ser lineales o no lineales (MAE, 2012).

Las ecuaciones alométricas permiten predecir la biomasa de un árbol a partir de las características dendrométricas más fáciles de medir como su diámetro o su altura que son elementos clave para estimar la contribución de los ecosistemas forestales al ciclo del carbono (Picard, Saint-André & Henry, 2012).

La relación emana del desarrollo ontogénico de los individuos que es básicamente el mismo para todos, salvo por la variabilidad asociada a la historia particular de cada uno. De esta forma, las proporciones o relaciones alométricas entre el diámetro y la altura con el volumen o la biomasa, entre otros, siguen una regla que se presume que es la misma para todos los árboles que crecen en el mismo ambiente, desde el más pequeño hasta el más grande (Ramirez, Dupuy, Ramirez, & Solorio, 2017).

### 2.3.8 Estudios relacionados

#### 2.3.8.1 *Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, composición y biomasa arbórea del bosque seco andino en Loja, Ecuador*

Cueva, Lozano & Yaguana (2019) analizaron la influencia de la altitud en la composición florística, estructura y biomasa arbórea en el bosque seco andino de la Reserva Natural Pisaca. Se localiza al suroccidente de la provincia de Loja, cantón Paltas, región biogeográfica de Los Andes ecuatorianos, presenta una temperatura media anual de 18,6°C, con precipitación media anual de 899 mm y está ubicada desde 1.560 a 2.440 m de altitud.

Modelo de bosque seco tropical:

$$B = (DM * \exp(-0,667 + 1,784 * (dap) + 0,207 * \ln(dap)^2 - 0,0281 * \ln(dap)^3))$$

#### 2.3.8.2 *Captura de carbono en el comportamiento leñoso del bosque seco en la Provincia de Loja con perspectivas del mercado*

Aguirre (2017) analizó el valor ecológico del bosque localizado entre 190 a 1 000 msnm, en territorios de los cantones Zapotillo, Macará, Puyango, Paltas, Pindal, Célica y Sozoranga, que comprende parte de la Reserva de Biosfera Bosque Seco en el extremo sur del Ecuador en el límite con el Perú. El área tiene una precipitación anual promedio de 500 mm y temperatura promedio anual de 24°C. Mediante un inventario de las especies de árboles  $\geq$  a 5 cm de diámetro a la altura del pecho (dap), evaluando 150 parcelas.

Modelo con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,557:

$$BA = -185,46 + 11,86D + 5,21HT + 0.08p + e$$

### **2.3.8.3 *Evaluación de bienes y servicios ambientales relevantes de los ecosistemas asociados a la línea férrea Ibarra-Salinas***

Minda (2015) realizó la formulación de indicadores basados en atributos de sustentabilidad que miden el nivel de desempeño ambiental como herramienta para el proceso de evaluación y alcanzar los objetivos que son evaluar los bienes y servicios ambientales presentando una propuesta de manejo ambiental y estrategias de conservación al Departamento de Ferrocarriles Zonal Norte. El estudio se realizó en el bosque seco natural del norte del área de influencia de la línea férrea Ibarra – parroquia Salinas, considerando los servicios ambientales prioritarios de la zona; se registraron los distintos tipos de altura, que cambia desde los 2229 m, salida de Ibarra, hasta los 1638 m, llegada a la Estación Salinas Km 202. La temperatura media oscila entre 21 y 24 °C, la precipitación total anual presenta un rango entre 250 y 500 mm.

### **2.3.8.1 *Cuantificación de las reservas de carbono en bosque seco dentro de tres áreas de conservación del programa socio bosque en el cantón Zapotillo, provincia de Loja***

Ruiz & Tinoco (2013) realizó la investigación, al suroccidente del Ecuador, en la Provincia de Loja, Cantón Zapotillo, en las Parroquias Paletillas, Bolaspamba y Limones; en tres áreas de conservación del programa Socio Bosque. Estos sitios se encuentran entre altitudes que fluctúan de 300 a 442 msnm, con una precipitación anual de 510,8 mm que se presentan en un periodo de 2 a 3 meses, generalmente en febrero, marzo y abril. La temperatura media anual es de 24,9 °C, la evaporación potencial es de 1783 mm/año.

**2.3.8.1 *Creación, ampliación, manejo y monitoreo de las áreas de reserva de los GAD's Municipales en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, para la reducción de la vulnerabilidad frente al CC y de emisiones de GEI, por deforestación y degradación.***

(Fondo Regional del Agua y Fondo Ambiental[FORAGUA], 2019) Realizó una investigación al sur del Ecuador, en las Provincias de Zamora Chinchipe y Loja, en los cantones Centinela del Cóndor, Célica y Zapotillo, estas áreas están distribuidas en tres ecosistemas naturales, bosque húmedo, bosque andino y bosque seco. Se aplicó la metodología propuesta por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y la FAO para la Evaluación Nacional Forestal, con las exigencias del mecanismo REDD+.

**2.3.8.2 *Uso de imágenes satelitales, ecuaciones alométricas y validación de campo para la cuantificación de biomasa aérea y stock de carbono en un bosque remanente de vegetación de valle seco interandino de la provincia de Pichincha, Ecuador***

Zambrano (2020) buscó cuantificar la biomasa aérea y el stock de carbono en un último remanente de este tipo de bosque seco en la provincia de Pichincha, Ecuador. Esto fue posible mediante el establecimiento de transectos de 50 x 2 m como unidad de muestreo. Una vez establecidos un total de 20 transectos. Emplearon una variación de las ecuaciones alométricas ya existentes para especies de bosque seco y una imagen satelital Sentinel 2 con el uso del algoritmo MaxEnt, para estimar la biomasa de cada individuo y cada transecto.

2.3.8.1 ***Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador***

Solano, Carlos, & Eras (2014) Realizó una investigación en cuatro sitios diferentes del Bosque Seco Pluviestacional, ubicados en: Mangahurco, Loja; Chacras, El Oro; Mamey, Guayas; y, Piñas del Julcuy, Manabí. Se instalaron un total de cuatro conglomerados, cada uno con tres parcelas permanentes de 60 x 60 m (3600 m<sup>2</sup>).

Se tomaron 19 especies para la elaboración de los modelos alométricos, destacándose los siguientes:

$$B = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * HT; B = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * HC$$

$$B = \beta_0 + \beta_1 * LN DAP + \beta_2 * LN HC$$

2.3.8.2 ***Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva y en suelos del “Bosque y vegetación protector El Artesan-EcuadorianHans”. Joa, Jipijapa***

Salas, Montes, Sánchez, Alcívar, Murillo, Vera, Bolcato & Iglesias (2020) determinaron el carbono almacenado en la biomasa aérea viva y en el suelo en un área de bosque seco en la parroquia Joa del cantón Jipijapa en Ecuador. Se establecieron aleatoriamente 24 parcelas permanentes de muestreo circulares con un área de 500 m<sup>2</sup>. se utilizó una ecuación alométrica para determinar biomasa aérea viva para luego estimar el carbono almacenado.

Modelo:

$$B = (dm * \exp(-0,667 + 1,784 * (dap) + 0,207 * \ln (dap)^2 - 0,0281 * \ln (dap)^3))$$



### 2.3.8.3 *Almacenamiento del carbono en biomasa aérea viva en un gradiente altitudinal de un bosque seco en Santa Ana, Manabí, Ecuador*

Flor (2021) estimó el carbono almacenado en biomasa aérea viva en un gradiente altitudinal de un bosque seco en Santa Ana, Manabí, Ecuador, donde se establecieron aleatoriamente mediante sistemas de información geográfica 24 parcelas permanentes de forma circular con un área de 500 m<sup>2</sup>.

El carbono almacenado se estimó mediante una ecuación alométrica diseñada para bosques secos mixtos propuesto por Chave et al., (2005):

$$BA_{est} = \exp(-2,187 + 0,916 \times \ln(pd^2h)) \equiv 0,0112 \times (pd^2h)^{0,916}$$

### 2.3.8.4 *¿Cuán importantes son los bosques secos para las urbanizaciones? El caso de Daule, Ecuador*

Rojas-Salvatierra *et al.*, (2020) Evaluó la estructura y biomasa aérea de dos remanentes de bosques cerca de una urbanización en construcción en Daule, Ecuador (Daule 1-2). Se tomaron n=5 transectos (25 m x 4 m).

#### 2.3.8.1 *Estudios en Ecuador por MAE y FAO*

En los bosques secos andinos del Ecuador se puede encontrar una cantidad de carbono estimada en 47.9 TnC/ha-1 en promedio (MAE, 2015) citado por (Aguirre, 2017).

El promedio mundial en bosques tropicales Bosque seco primario es de 60 TnC/ha-1 y para el bosque seco secundario es de 25 TnC/ha-1 (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación[FAO], 2003)

Los promedios de estimación de carbono aéreo en Ecuador son 30,4 Tn/ha-1 en Bosque seco andino y 26,5 Tn/ha-1 en Bosque seco pluvial

#### 2.3.8.1 *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbonon almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*

Phillips *et al.* IDEAM (2011) incorpora las recomendaciones de la Orientación de las Buenas Prácticas del IPCC (IPCC 2003, 2006) y del Sourcebook de REDD (GOFC-GOLD 2009), y elabora a partir de análisis estadísticos empleando información suministrada por instituciones gubernamentales y no gubernamentales, e investigadores nacionales e internacionales. El ejercicio reúne los últimos avances en torno al tema de la construcción de ecuaciones alométricas para calcular la biomasa aérea en bosques de Colombia.

#### 2.3.8.2 *Biomasa y depósito de carbono en bosques en regeneración del Ecoparque Bataclán Cali, Colombia*

Cárdenas (2012) midió la biomasa de la vegetación y los depósitos de carbono en el Ecoparque Bataclán de Cali, Colombia, bosque seco tropical, con dos estrategias de regeneración, con y sin barreras de bambú, se establecieron tres parcelas permanentes de 500 m<sup>2</sup> en cada estrategia.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Características del sitio

##### 3.1.1. Ubicación Política

Las áreas de investigación se encuentran en predios privados clasificados como Bosque y arbustal semideciduo del norte de los Valles, ubicados en la parroquia Tumbabiro, cantón Urcuquí, provincia de Imbabura (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Tumbabiro [PDOTT], 2015) y la parroquia concepción, cantón Mira, provincia de Carchi (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Concepción [PDOTLC], 2014).

##### 3.1.2. Datos geopolíticos

El predio en la parroquia de Tumbabiro se encuentra en las coordenadas:

Latitud  $0^{\circ} 56' 25''$  N y Longitud  $80^{\circ} 29' 31''$  O, con rango altitudinal desde los 1800 hasta los 2900 msnm, se encuentra limitado al oeste con cultivos de caña del mismo dueño, al sur y al este con propiedades privadas, y al norte con la vía a Salinas como se indica en la figura 1 (PDOTT, 2015).

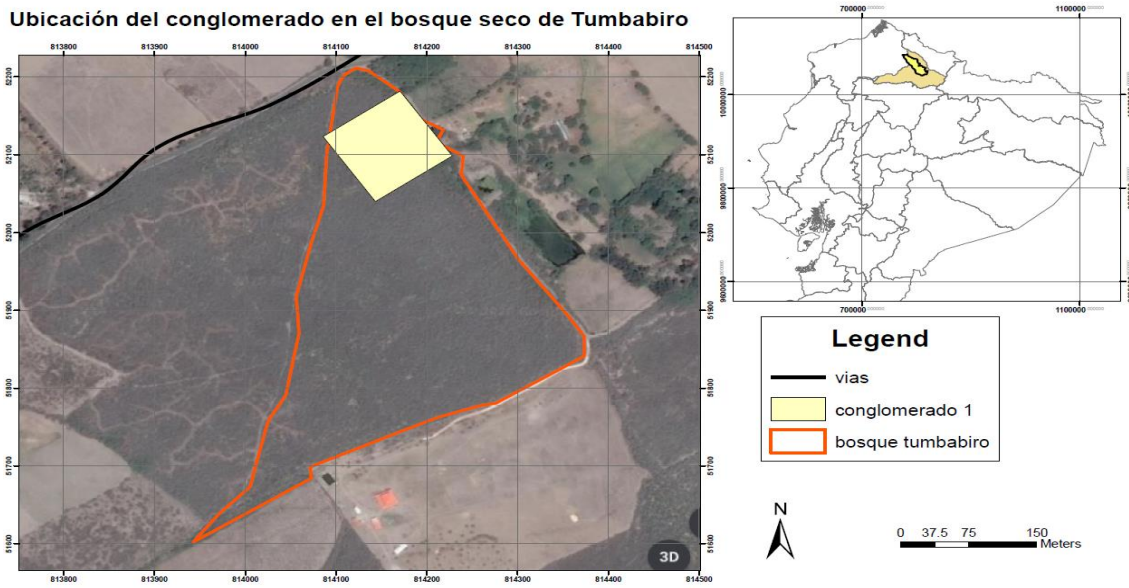
El predio en la parroquia de La Concepción se encuentra en las coordenadas:

Latitud  $0^{\circ} 30'$  N y Longitud  $78^{\circ} 10'$  O, con un rango altitudinal desde los 1800 hasta los 2800 msnm limita al este con la vía El Rosal- La concepción, al norte y sur con propiedades privadas, y al oeste con el río Mira, como se observa en la figura 2 (PDOTLC, 2014).

**Figura 1**

*Bosque seco de Tumbabiro*

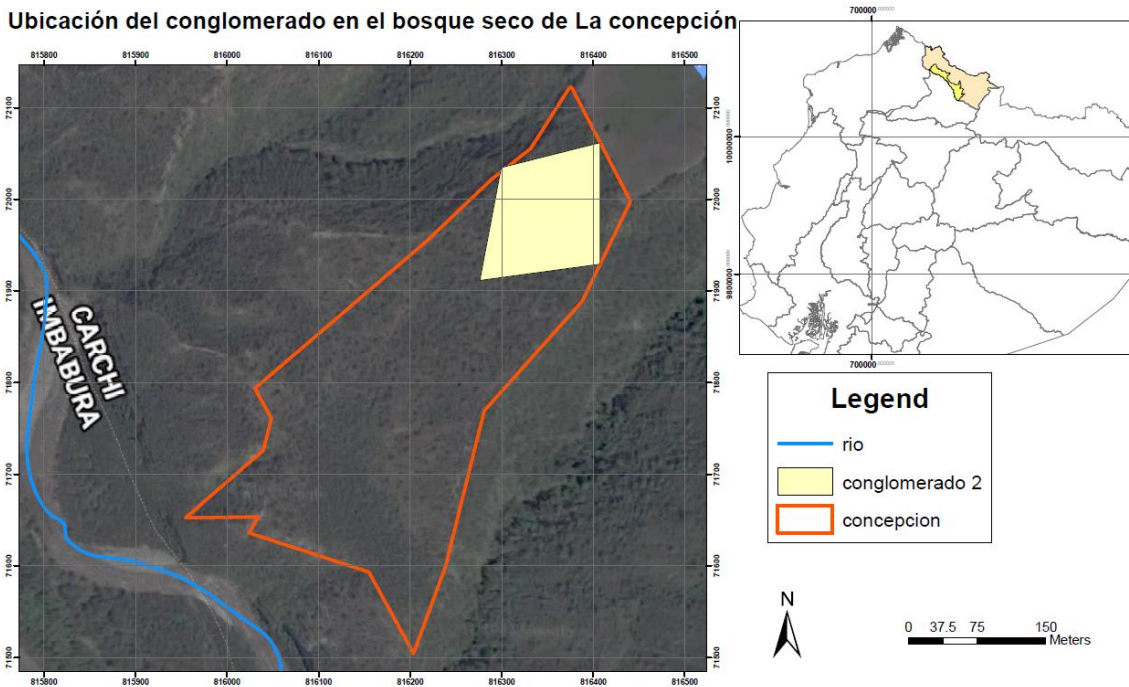
**Ubicación del conglomerado en el bosque seco de Tumbabiro**



**Figura 2**

*Bosque seco de La concepción*

**Ubicación del conglomerado en el bosque seco de La concepción**



### 3.1.3. Datos climáticos

Tumbabiro: Las temperaturas en el territorio van desde los 10 °C a un máximo de 19 °C con una precipitación de 700 mm por año (PDOTTumbabiro, 2015).

La Concepción: Las temperaturas van desde los 6 °C a un máximo 25 °C con una precipitación entre 440 y 1250 milímetros anuales (PDOTLa Concepción, 2014).

## 3.2. Materiales, equipos y softwares

**Tabla 1**

*Materiales, equipos y softwares utilizados*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Softwares</b>
Cinta métrica	Computadora	ArcGIS
Piola	Navegador GPS	Microsoft Excel
Libreta de campo	Cámara fotográfica	Microsoft Word
Estacas	Brújula	Infostat
Imagen satelital	Hipsómetro o clinómetro	
Mapa base	Balanza	
Periódico	Barreno de Pressler	
Machete	Pie de rey	
Pintura		
Materiales de escritorio		
Pala pequeña		
Bolsas plásticas		
Papel aluminio		

## 3.3. Metodología

### 3.3.1. Fase de campo

#### 3.3.1.1 *Delimitación del área*

Debido a las condiciones del terreno se utilizó una adaptación de la metodología propuesta por el Inventario Nacional Forestal del año 2010.

Con la ayuda de un GPS se delimitó el conglomerado y establecimiento de las parcelas y subparcelas

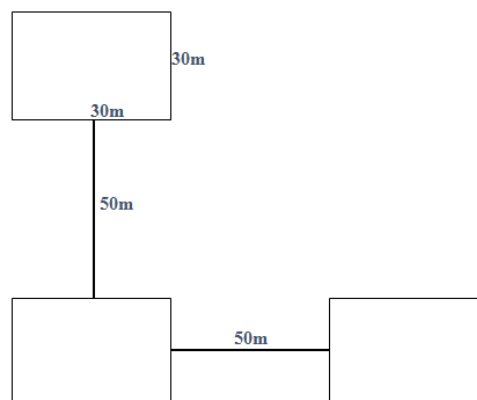
### 3.3.1.2 *Distribución de conglomerados, parcelas y subparcelas*

En cada uno se instaló un conglomerado formado a su vez por tres parcelas.

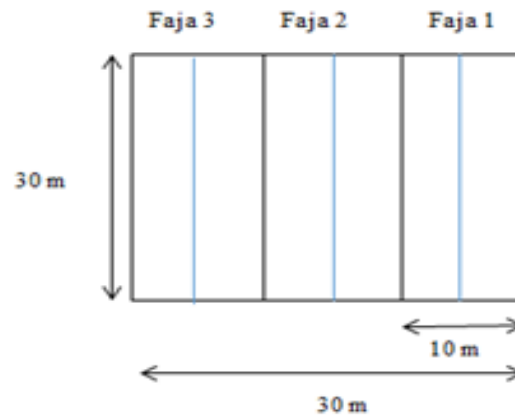
Las tres parcelas miden 30 x 30 m separadas por 50 m en forma de L. Con base en la facilidad de acceso se inicia con la instalación de la parcela lateral derecha de la L y de ahí continuar hacia la izquierda y luego a la parcela superior.

#### **Figura 3**

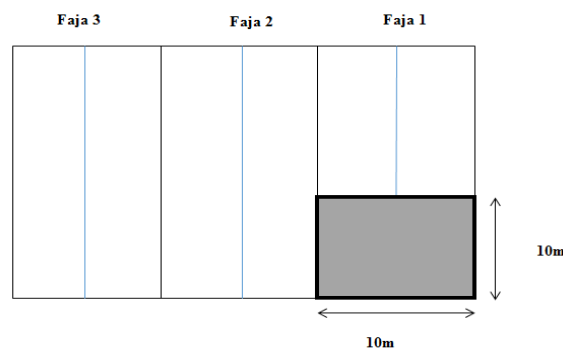
##### *Diseño de parcelas*



Cada parcela está formada de tres fajas.

**Figura 4***Diseño de fajas*

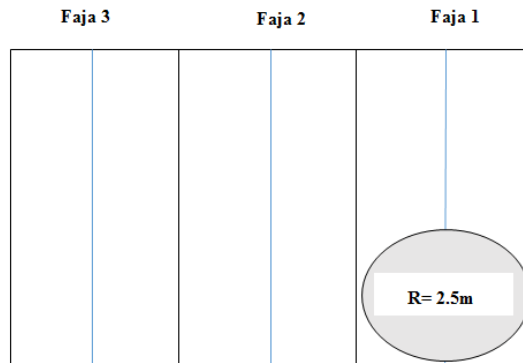
La primera subparcela anidada mide 10 x 10 m, ubicado al suroeste de la parcela principal.

**Figura 5***Parcela anidada 1*

La segunda subparcela anidada circular con radio = 2.5 m (área = 19.64 m<sup>2</sup>) ubicado dentro de la subparcela de 10 x 10 m de la faja 1.

## Figura 6

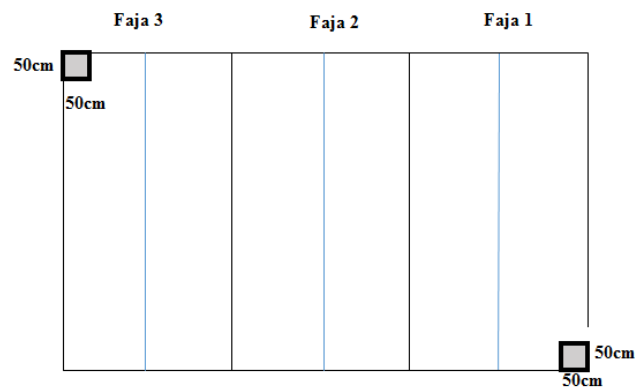
### Parcela anidada 2



La tercera parcela anidada consiste en dos cuadrados de 50 x 50 cm. Estas se ubicaron una en la esquina Sureste y otra en la Noroeste de la parcela principal.

## Figura 7

### Parcela anidada 3



#### 3.3.1.3 *Inventario Forestal*

La información obtenida en campo se registró en los formularios diseñados para tales fines como se observa en anexos-tabla 9, donde se incluyó los datos detallados de cada variable independiente dap y altura por individuo.

##### 3.3.1.3.1 *Identificación de las especies*

Para la identificación de las especies se procedió a realizar un registro detallado de familia, género y especie de cada individuo in situ, para individuos que no pudieron ser



identificados se recolectó una muestra botánica fértil para su posterior identificación en el Herbario de la Universidad Técnica del Norte.

### 3.3.1.3.2 *Variables a medir*

En la parcela de 30 x 30 m se midió todos los árboles igual o mayor a 10 cm de dap, cada parcela está formada por tres fajas de 30 x 10 m.

En la primera parcela anidada de 10 x 10 m, se midieron todos los latizales en pie y muertos con dap igual o mayor a 5 cm y menores a 10 cm.

La segunda subparcela anidada circular con radio = 2.5 m (área = 19.64 m<sup>2</sup>) fue destinada a medir brinzales de regeneración natural menores a 5 cm de dap.

La tercera parcela anidada consiste en dos cuadrados de 50 x 50 cm para registrar el peso de la hojarasca de menor a 5 cm y mayor de 2 mm de diámetro y detritus máximo a 30 cm de profundidad, se colectó una submuestra (mezcla de hojarasca más detritus de las dos parcelas de alrededor de 0.5 kg.

## 3.3.2 Cálculos

Para los cálculos se utilizaron las siguientes fórmulas tomadas de diferentes autores:

### 3.3.2.1 *Diámetro a la altura de pecho (dap)*

El diámetro de los árboles (dap) fue medido utilizando una cinta métrica en la circunferencia a la altura del pecho (cap) con corteza a la altura estándar de 1,30 m tomada desde el punto donde el tallo principal sale del suelo, para la transformación del cap al dap se utilizó la siguiente fórmula:

Ecuación 1:

$$D = \frac{C}{\pi}$$

En donde:

D: diámetro (m)

C: circunferencia (m)

$\pi$ : constante 3.1416

(Tabango, 2020).

### 3.3.2.2 *Altura*

Utilizando el hipsómetro a 20 m de distancia del árbol se tomó un registro iniciando como punto de referencia en la base y el punto más alto de la copa obteniendo su altura final.

### 3.3.2.3 *Obtención de la densidad básica*

Se seleccionó un árbol de cada especie y se tomó una muestra a la altura del dap mediante el barrenado de Pressler, se determinó la densidad mediante la medición del diámetro interno del taladro de Pressler (5 mm), y la longitud de la sección con un pie de rey. Estos datos sirvieron para calcular el volumen verde de la muestra, y posteriormente, con el peso anhidro cuando la muestra esté deshidratada mediante las siguientes fórmulas (Valencia y Vargas, 1997) citado por (Collahuazo & Taicud, 2018).

Ecuación 2:

$$Vv = \pi(D^2) \left(\frac{L}{4}\right)$$

En donde:

Vv = Volumen verde

D = Diámetro (5 mm)

L = Largo de la muestra (cm)

Ecuación 3:

$$Db = \frac{Po}{Vv}$$

En donde:

Db = Densidad básica

Po = Peso anhidro

Vv = Volumen verde

(Collahuazo & Taicud, 2018).

#### 3.3.2.4 *Cálculo del volumen*

El volumen se determinó a partir del área basal, el cual se lo obtuvo mediante el inventario realizado aplicando la siguiente fórmula para cada árbol (MAE, 2015).

Ecuación 4:

$$V = AB \times h \times ff$$

En donde:

V= volumen en pie (m<sup>3</sup>)

AB= área basal

h= altura total

ff= factor de forma (0.7)

### 3.3.3 Biomasa total

#### 3.3.3.1 Método no destructivo

La biomasa total se calcula mediante la siguiente fórmula (Guerrero & Imbaquingo, 2020):

Ecuación 5:

$$Y = B + Mo_{det}$$

En donde:

Y: Biomasa por individuo (kg)

B: Biomasa por componentes (fuste, ramas, hojas) (kg)

*Modet*: Materia Orgánica y detritus (kg)

#### 3.3.3.1.1 Biomasa del fuste

Se utilizaron los datos de los resultados de densidad de la ecuación 3 y de volumen en la ecuación 4 para calcular la biomasa del fuste mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 6:

$$B = V \times Db$$

En donde:

B = Biomasa total del fuste

V= Volumen promedio

Db = Densidad básica

### 3.3.3.1.2 Biomasa de ramas y hojas

Se seleccionó una rama que está bifurcada directamente del fuste y ubicada en el centro de la copa (a fin de tener un valor promedio), esta fue dividida en secciones parciales de 0.5 m. De cada rama se obtuvo una rodaja de 1 cm de espesor, esta se pesó en campo con corteza (peso verde). Cada rodaja fue empacada y codificada para ser enviada al laboratorio, donde fue sometida a temperatura constante de 100 °C dentro de un horno. Al alcanzar pesos constantes fueron registrados como peso en seco. Se obtiene la densidad mediante la ecuación 3, y para la biomasa se la obtiene mediante la ecuación 6.

El follaje de la rama fue pesado en campo y secado en horno y se obtuvo el porcentaje de peso seco, que servirá para el cálculo de la biomasa de las hojas, se aplicó la siguiente fórmula:

Ecuación 7:

$$\%Ps = \frac{(Pi - Ps)}{Pi} \times 100$$

En donde:

%Ps=Peso seco (%)

Pi= Peso fresco (kg)

Ps=Peso seco (Kg)

Con los valores obtenidos del peso seco en porcentaje, se calculó la biomasa mediante la fórmula:

Ecuación 8:

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

B=Biomasa (Kg)

Pi= Peso fresco (kg)

Ps=Peso seco (%)

Finalmente, los valores obtenidos se extrapolaron por el número total de ramas (Ramírez & Chagna, 2019).

#### 3.3.3.1.3 *Biomasa de detritus*

Se procedió a coleccionar toda la hojarasca y escarbar el horizonte orgánico (máximo a 30 cm de profundidad), luego pasándola por un tamiz de 2 mm de diámetro y coleccionarlos en una bolsa plástica. Después todo el material recolectado de las dos subparcelas se pesó y este dato constituye el peso verde de la muestra.

Posteriormente se coleccionó una submuestra (mezcla de hojarasca más detritus tanto del material inferior a los 5cm de diámetro y del horizonte orgánico > a 2 mm) de las dos parcelas de alrededor de 0.5 kg. Esta muestra fue enviada al laboratorio asignado para secar y obtener su peso seco, obteniendo la biomasa mediante las fórmulas 7 y 8 (Tabango, 2020).

#### 3.3.4 **Determinación del carbono**

Para la estimación del contenido de carbono el factor de conversión es de 0.5 propuesto por (IPCC, 2003).

Ecuación 9:

$$C = Y \times 0.5$$

En donde:

C: Carbono total por individuo

Y: Biomasa por individuo (kg)

Para la estimación de los detritus el coeficiente es de 0.44

Ecuación 10:

$$C = Yd \times 0.44$$

En donde:

C: Carbono total de detritus

Y: Biomasa detritus (kg)

Finalmente, se suma y se obtiene el carbono total (Guerrero & Imbaquingo, 2020).

### 3.3.5 Selección de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa aérea

Los mejores modelos alométricos se seleccionaron mediante la utilización de la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008). Para el procesamiento de los datos se usó los programas estadísticos Excel e Infostat.

#### 3.3.5.1 Organización de los datos y correlación entre variables

Se organizó los datos de cada individuo en una fila, detallando en las columnas las variables independientes (dap, h) y dependiente biomasa total, volumen o carbono. Luego se graficó la biomasa total frente a cada variable independiente para ver las tendencias de los datos y probar diferentes modelos.

Posteriormente se calculó el coeficiente de correlación con las variables independientes y la variable dependiente, usando para ello la siguiente ecuación (Steel & Torrie, 1988):

Ecuación 11:

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sqrt{S \frac{2}{x} \times S \frac{2}{y}}}$$

En donde:

$r_{xy}$  = correlación de Pearson

$C_{xy}$  = covarianza

$S^2$  = varianza

Los datos que no ofrecieron una correlación aceptable, fueron transformados a ln, raíces y potencias con el propósito de obtener una mejor correlación entre variables.

### 3.3.5.1 *Estimación de parámetros de modelos alométricos*

Se toma en cuenta ciertos modelos alométricos:

- $B = c + b D^a$

Dónde:

D= diámetro

a y b= coeficientes de alometría

c = 1.3m si D fue medido a 1.30m

(Ramirez, Dupuy, Ramirez, & Solorio, 2017).

- Berkhout VBC =  $a + b \times \text{DAP}$

- Spurr VBC =  $a + b \times \text{DAP}^2 \times h$

En donde:

VBC = volumen (m<sup>3</sup>), biomasa (kg) o carbono (kg) (árbol)

dap = diámetro a la altura de pecho (cm)

h= altura total (m)

a, b = parámetros del modelo

(Valdemir, Malavasi, Calegário, De Matos Malavasi y Küster, 2008) citado por (Ramírez & Zamora, 2019).



### 3.3.5.2 *Selección de los mejores modelos*

Se evaluó los modelos con los mecanismos estadísticos: coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  ajustado), y criterio de información akaike (AIC), proporcionados por el programa estadístico Infostat.

### 3.3.5.1 *Extrapolación de datos*

Con los datos obtenidos de biomasa de cada especie muestreada y biomasa total por conglomerado, se aplicó una extrapolación para el total de la zona de investigación (Ramírez & Zamora, 2019).

### **3.3.6 Comparación de contenido de carbono fijo**

Para la comparación del carbono almacenado en los bosques secos de las dos parroquias se usará una prueba U de Mann-Whitney.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1 Inventario forestal

El análisis estadístico se obtuvo con las variables dap y altura, de los datos tomados del inventario forestal y se las muestra en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Estadísticas de las variables*

BOSQUE SECO	VARIABLES	$\bar{X}$ (m)	S	SX	CV
TUMBABIRO	dap	0,12	4,23	0,44	35,68
	altura	3,42	1,22	0,13	35,85
LA CONCEPCION	dap	0,13	4,95	0,48	37
	altura	5,74	1,32	0,13	23,09

nota. dap: diámetro a la altura de pecho; m: metros;  $\bar{X}$ : medias; S: desviación estándar; SX: error estándar; CV: coeficiente de variación.

El promedio de dap en el bosque de Tumbabiro es de 0,12 m o 12 cm mientras que en el bosque de La Concepción el promedio fue de 0,13 m o 13 cm. Por otra parte, la altura promedio para el bosque de Tumbabiro y La Concepción es 3,42 m y 5,74 m respectivamente. La desviación estándar nos indica que los datos se encuentran agrupados muy cerca de la media, sin embargo, el coeficiente de variación mostró una mediana dispersión en los dos bosques.

Cueva, Lozano & Yaguana (2019) registraron datos de la zona baja con altura de 5.09 m de promedio, que se aproximan a los de esta investigación. Mientras que los valores de dap concuerdan con los reportados en la zona alta con 12,84 cm y en la zona media con 13,44 cm; estos resultados confirman la influencia de la gradiente altitudinal en los bosques secos de Ecuador.

Tomados juntos estos resultados concuerdan con Aguirre (2017) en un estudio ubicado en el bosque seco de la provincia de Loja, que obtuvo valores de altura de hasta 18 m de altura, con 3 estratos bien definidos, siendo el estrato dominado con 3-8 m de altura el que registró valores similares a los bosques de Tumbabiro y La Concepción.

#### 4.1.1 Densidad básica

Los valores para la densidad básica de fuste y ramas de las especies arbóreas se indican en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Densidad básica de las especies arbóreas*

Bosque seco	Familia	Nombre científico	Fuste g/cm-3	Ramas g/cm-3
Tumbabiro	Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	0,68	0,75
	Fabaceae	<i>Caesalpinia espinosa</i>	0,87	0,96
	Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i>	0,81	1,43
La Concepción	Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i>	0,75	0,93

nota. g/cm-3: gramos sobre centímetros cúbicos.

En el bosque de Tumbabiro se encontraron 3 especies arbóreas, mientras que en el bosque de La Concepción se encontró solo una especie arbórea. Resultados similares han sido obtenidos por Cerón & Rojas (2019) de un inventario realizado en el cantón Urcuquí y de la misma manera por Chimarro (2021) en el bosque de La Concepción.

Los hallazgos de este estudio son consistentes con los obtenidos por Minda (2015) en la parroquia Salinas, con valores para densidad básica de la especie *Caesalpinia espinosa* con 0,88 g/cm-3, *Vachellia macracantha* con 0,83 g/cm-3 y *Schinus molle* de 0,82 g/cm3, mostrando una notable diferencia con esta última especie, que podría deberse a varios factores como la gradiente, su ubicación en el bosque y el impacto antrópico.

En el Ecuador el (Ministerio del Ambiente [MAE], 2014) registra datos de densidad básica para *Schinus molle* de 0,68 g/cm<sup>3</sup> y para *Vachellia macracantha* de 0,86 g/cm<sup>3</sup>, resultados similares que se han obtenido en esta investigación. Mientras que para la especie *Caesalpinia espinosa* la (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación[FAO], 2008) reporta una densidad básica con valor elevado de 1,05 g/cm<sup>3</sup>, esto debido a que ese resultado es un promedio mundial, mientras que el valor obtenido en esta investigación es tomado de un lugar en específico con métodos indirectos.

## 4.2 Biomasa aérea

En la tabla 4 se presenta la distribución de la biomasa aérea de los dos bosques, que fue determinada mediante el método indirecto.

**Tabla 4**

*Biomasa aérea*

Bosque seco	Biomasa	Parcela 1 (kg)	Parcela 2 (kg)	Parcela 3 (kg)
Tumbabiro	hojas	20,05	36,38	13,1
	ramas	1926,54	3457,12	1036,18
	fuste	264,534	669,23	154,37
	detritus	31,2	31,2	21,6
La Concepción	hojas	64,37	75,99	49,85
	ramas	8187,75	9665,24	6340,89
	fuste	1501,18	2401,602	1630,434
	detritus	7,32	100,8	82,8

nota. kg: Kilogramos.

El componente de las ramas y fuste fueron los que poseen mayor acumulación de biomasa tanto en el bosque de Tumbabiro y el bosque de La concepción.

### 4.2.1 Extrapolación

En la tabla 5 se detalla los valores obtenidos de la biomasa en el conglomerado, por hectárea y del total del bosque de Tumbabiro y el bosque de La concepción.

**Tabla 5***Extrapolación de la biomasa*

Bosque seco	Biomasa en el conglomerado (Tn)	Biomasa/hectárea (Tn)	Biomasa total (Tn)
Tumbabiro	7,65	28,33	291,79
La Concepción	30,12	111,51	1204,33

Nota. Tn: Toneladas.

Cueva, Lozano & Yaguana (2019) en el bosque seco andino de la Reserva Natural Cerro Pisaca, estimaron valores de biomasa total en regeneración natural de 174,07 Tn/ha-1. Cantidad alta en comparación a los 2 bosques, esto debido a la utilización de una ecuación alométrica general para bosques tropicales secos. Así mismo, en la zona alta obtuvieron valores promedio de biomasa de 128,14 Tn/ha-1, y en la zona baja 7,61 Tn/ha-1, estos datos contrastan con los estimados en este estudio, ya que a menor altitud se encontró mayor biomasa.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los de Zambrano (2020) en un bosque seco en la provincia de Pichincha con 2 métodos, en el que estimó para la Zona de conservación con 70,59 Tn/ha-1 y 77,62 Tn/ha-1, Área de reforestación nueva con 46,06 Tn/ha-1 y 30,06 Tn/ha-1, Área de reforestación antigua con 65,90 Tn/ha-1 y 58,06 Tn/ha-1, Zona de restauración natural con 71,88 Tn/ha-1 y 68,11 Tn/ha-1 respectivamente; esto debido a varios factores como el uso de ecuaciones alométricas y similares condiciones climáticas y altitudinales.

Los presentes hallazgos parecen ser consistentes con los encontrados por (Evaluación de los recursos forestales mundiales[informe FRA], 2020) que reporta promedios de biomasa aérea en el Bosque seco andino de 60,80 Tn/ha-1 y en el Bosque seco pluviestacional de 53 Tn/ha-1.

Cárdenas (2012) encontró en un estudio en Colombia de un bosque seco una biomasa total de 23,42 Ton/ha-1 con barreas de bambú, y 24.05 Ton/ha-1 sin barreras de bambú; datos muy similares a los hallados en el bosque de Tumbabiro, debido quizá a las condiciones climáticas y de regeneración natural. De la misma manera (Phillips et al., 2011) en Colombia registró datos para biomasa aérea desde 58,5 Tn/ha-1 hasta 216,3 Tn/ha-1 en ecosistemas de bosque seco; estos resultados son cercanos a los encontrados en el bosque de La Concepción debido a las condiciones climáticas, altitud y características de bosques primarios.

### 4.3 Carbono capturado

Los valores de carbono fijo obtenido de los bosques de Tumbabiro y La Concepción son 14,01 TnC/ha-1 y 55,4 TnC/ha-1 respectivamente, como se aprecia en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Carbono fijo*

Bosque seco	Carbono en el conglomerado (Tn)	Carbono/hectárea (Tn)	Carbono total (Tn)
Tumbabiro	3,82	14,16	145,9
La Concepción	15,05	55,76	602,16

nota. Tn: Toneladas.

Los hallazgos de este estudio son consistentes con los de Aguirre (2017) de los bosques secos pluviestacional de la provincia de Loja, con 32,90 TnC/ha-1; los valores son ligeramente variables debido a la altitud. Sin embargo, el promedio de carbono almacenado en bosque seco, en el Cantón Zapotillo reportado por (Fondo Regional del Agua y Fondo Ambiental[FORAGUA], 2019) es de 61,17 TnC/ha<sup>-1</sup>; cercano al registrado en el bosque de La Concepción, los factores que podrían explicar esto son las características de Bosque primario y las condiciones climáticas que se asemejan.

Estos resultados confirman lo ya encontrado por Zambrano (2020) que registró datos obtenidos en campo y con ayuda de imágenes satelitales de 35,29 TnC/ha-1 y 38,81 TnC/ha-1 en la Zona de conservación, 23,03 TnC/ha-1 y 15,03 TnC/ha-1 en el Área de reforestación nueva, 32,95 TnC/ha-1 y 29,03 TnC/ha-1 en el Área de reforestación antigua, y 35,94 TnC/ha-1 y 34,05 TnC/ha-1 en la Zona de restauración natural respectivamente.

En los bosques secos andinos del Ecuador se puede encontrar una cantidad de carbono estimada en 47.9 TnC/ha-1 en promedio (MAE, 2015); valores cercanos al estimado en este estudio y al de (Aguirre, 2017), (FORAGUA, 2019) y (Zambrano, 2020); estos resultados pueden explicarse por el hecho de que tienen características y condiciones similares.

Resultados similares han sido obtenidos por (Evaluación de los recursos forestales mundiales[informe FRA], 2020), con una estimación de carbono aéreo en Ecuador de 30,4 Tn/ha-1 en Bosque seco andino y 26,5 Tn/ha-1 en Bosque seco pluviestacional; datos que podrían haber sido influenciados por la gradiente altitudinal y condiciones climáticas.

Estos resultados difirieren de los encontrados por Ruiz & Tinoco (2013) que reportaron un promedio de 96,37 TnC/ha-1 con una diferencia de 19,7 TnC/ha-1 en bosque seco en el cantón Zapotillo, estas diferencias aparentes podrían explicarse por el uso de parcelas permanentes en un área de conservación perteneciente al programa socio bosque, ya que no tiene mucho impacto antrópico. De la misma manera Rojas-Salvatierra *et al.*, (2020) estimó 131.6 MgC/ha-1 y 111.7 MgC/ha-1 en remanentes de bosque seco en Daule; debido quizá al uso de transectos, la incorporación de individuos  $\geq 2,5$  cm dap para el inventario, gradiente altitudinal y condiciones climáticas.

A nivel mundial estos resultados coinciden con los observados por (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación[FAO], 2003) que reportaron un promedio mundial para Bosque seco primario con 60 TnC/ha-1 y para el bosque seco

secundario con 25 TnC/ha-1; Los hallazgos parecen ser consistentes con los que otras investigaciones encontraron, parece posible que el bosque de Tumbabiro se encuentra en el promedio de bosque seco secundario, mientras que el bosque de La Concepción tiene un valor cercano al promedio general para bosque seco primario.

Estos resultados concuerdan también con las observaciones realizadas en Colombia por Phillips et al., (2011) que reportó desde 48,1 Tn/ha-1 hasta 108 Tn/ha-1 en ecosistemas de bosque seco; siendo el bosque de La Concepción el que más se acerca a estos valores.

#### 4.4 Construcción de modelos

En la tabla 7 se registraron los mejores modelos para estimación del carbono del bosque de Tumbabiro y bosque de La Concepción.

**Tabla 7**

*Modelos alométricos para estimación de carbono*

Bosque seco	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> -ajustado	AIC
Tumbabiro	$\ln C = -1,12 + 1,92 * \ln dap - 1,09 * (d)^3 - 0,07 * (\ln dap)^3 + 1,96 * \ln h - 0,61 * (\ln h)^2$	0,76	0,75	68,79
La Concepción	$C = 101,46 + 0,17 * dap^2 + 1,24 * h^2$	0,90	0,89	1065,58

nota. C: carbono; dap: diámetro a la altura de pecho (cm); h: altura (m); d: densidad básica (g/cm-3); ln: logaritmo natural; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; AIC: criterio de información de akaike

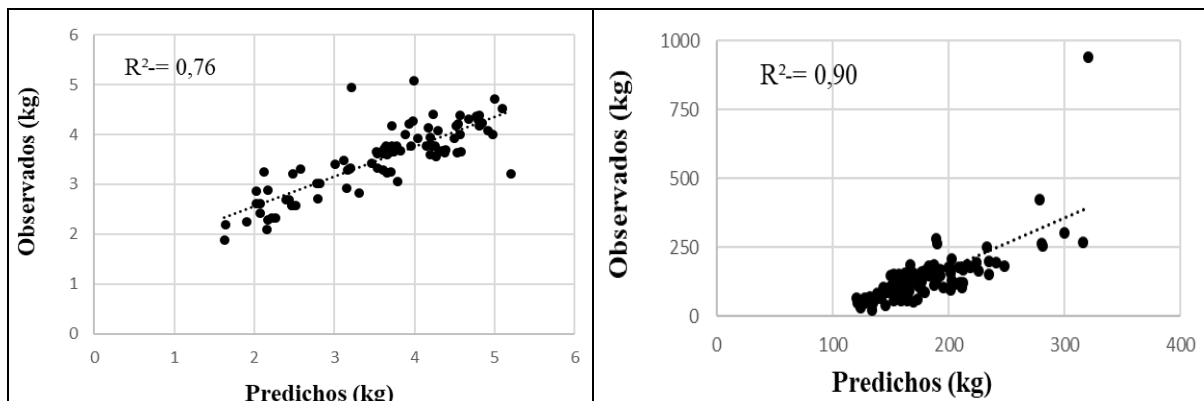
Se utilizaron las variables independientes dap, altura y densidad. Estos modelos fueron escogidos en base al coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), coeficiente de determinación ajustado (R<sup>2</sup>-aj) y el Criterio de información de Akaike (AIC).

En la figura 9 se muestran los valores observados y los valores predichos para el bosque de Tumbabiro y bosque de La Concepción, utilizando las ecuaciones obtenidas en este estudio.



### Figura 8

*Valores observados vs predichos*



Aguirre (2017) en un estudio de bosque seco en la provincia de Loja obtuvo un modelo con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,557, es cual indica que la variable dependiente biomasa, se encuentra determinada por las variables independientes en un 55,7%, siendo todas las variables significativas y con relación directa a la variable dependiente; estos resultados difieren de los encontrados en este estudio, debido a factores como la utilización de métodos diferentes para la estimación de carbono o el uso de variables con mayor grado para encontrar un modelo alométrico, sin embargo, las variables dap, altura y densidad básica son tomados en cuenta para ambos estudios.

Solano, Carlos, & Eras (2014) determinaron modelos alométricos con variables logarítmicas y con exponente cuadrado en una regresión múltiple, obteniendo un  $R^2$  superior a 70, usando variables independientes de dap y altura y sus transformaciones a logaritmo natural, transformaciones que no fueron tomadas en cuenta por Aguirre (2017).

Es interesante mencionar que en este estudio se obtuvo un modelo propio para cada bosque estudiado, en contraste con Cueva, Lozano & Yaguana (2019) que utilizaron un modelo general de ecuación alométrica para bosque seco tropical. De igual forma Salas, Montes, Sánchez, Alcívar, Murillo, Vera, Bolcato & Iglesias (2020) utilizó el mismo modelo basado en las variables de densidad de la madera y dap con su transformación a

logaritmo natural cuadrática y cúbica. Por otra parte, Flor (2021) utilizó la ecuación alométrica para bosques secos mixtos propuesto por Chave et al., (2005) el cual está compuesto por las variables dap, altura y densidad básica; estos hallazgos confirman la asociación y la dependencia de las variables en este estudio.

#### 4.4.1 Modelos alométricos de otros autores

Se utilizaron modelos recomendados por (MAE, 2012), de los cuales se seleccionaron 3 con mejor R<sup>2</sup>-ajustado de autores como Schumacher-Hall, Husch, Meyer y Stoate para el bosque de Tumbabiro y el bosque La Concepción.

La tabla 8 indica los modelos de 3 autores.

**Tabla 8**

*Modelos alométricos de otros autores*

Bosque	Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> -ajustado	AIC
Tumbabiro	Schumacher-Hall	$\ln C = 0,06 + 1,34 * \ln dap + 0,21 * \ln h$	0,59	0,59	111,37
	Husch	$\ln C = 0,24 + 1,36 * \ln dap$	0,58	0,58	112,17
	Meyer	$C = -12,02 + 0,24 * dap^2 + 1,56 * (dap * h) - 0,09 * (dap^2 * h)$	0,40	0,38	822,66
La Concepción	Schumacher-Hall	$\ln C = 1,21 + 0,90 * \ln dap + 0,76 * \ln h$	0,65	0,64	65,38
	Meyer	$C = 89,43 - 0,87 * dap^2 - 0,54 * (dap * h) + 0,74 * (dap^2 * h)$	0,62	0,61	1206,93
	Stoate	$C = 105,08 - 0,87 * dap^2 + 0,69 * (dap^2 * h) - 7,07 * h$	0,62	0,61	1206,90

nota. C: carbono; dap: diámetro a la altura de pecho (cm); h: altura (m); ln: logaritmo natural; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; AIC: criterio de información de akaike.

Se observa un coeficiente de determinación ajustado de 0,59 (Schumacher-Hall), 0,58 (Husch) y 0,38 (Meyer) para el bosque de Tumbabiro. Es decir, que la variable dependiente carbono se encuentra determinada por sus variables independientes en un 59%, 58% y 38%

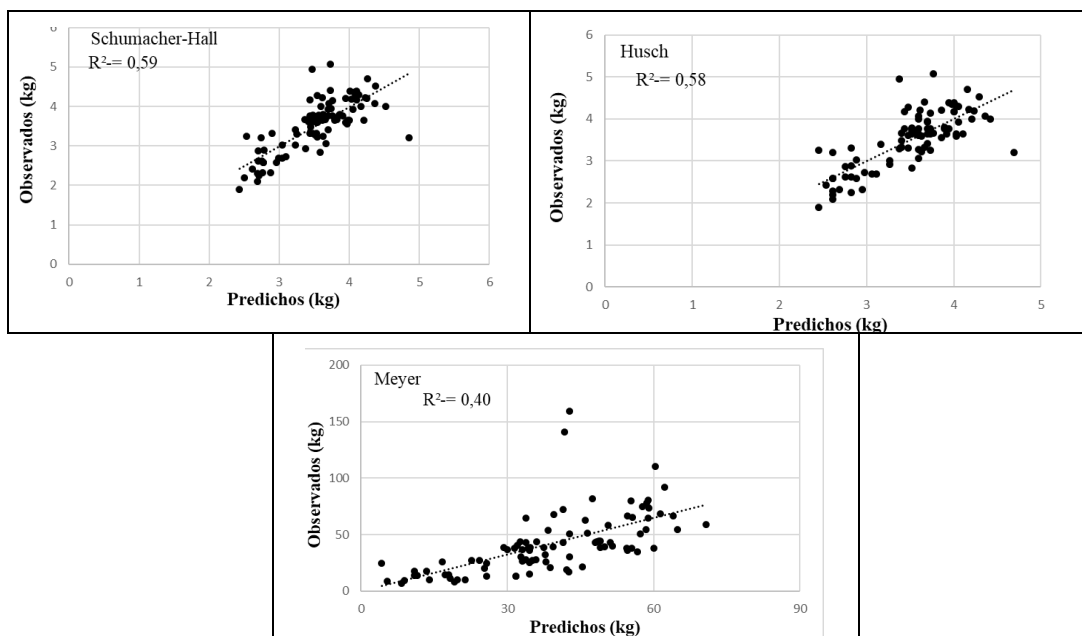
respectivamente, modelos medianamente aceptables para el cálculo de carbono en la zona de este estudio.

Por otra parte, los modelos para el bosque de La Concepción se observa un coeficiente de determinación ajustado de 0,64 (Schumacher-Hall), 0,61 (Meyer) y 0,61 (Stoate). Es decir, que la variable dependiente carbono se encuentra determinada por sus variables independientes en un 64%, 61% y 61% respectivamente, modelos medianamente aceptables para el cálculo de carbono en la zona de este estudio.

En la figura 10 y 11 se presentan los valores observados y valores predichos utilizando 3 modelos de ecuaciones para el bosque de Tumbabiro y el bosque de La concepción, recomendados por el MAE (2012), los cuales fueron escogidos de acuerdo a un mayor  $R^2$ -ajustado.

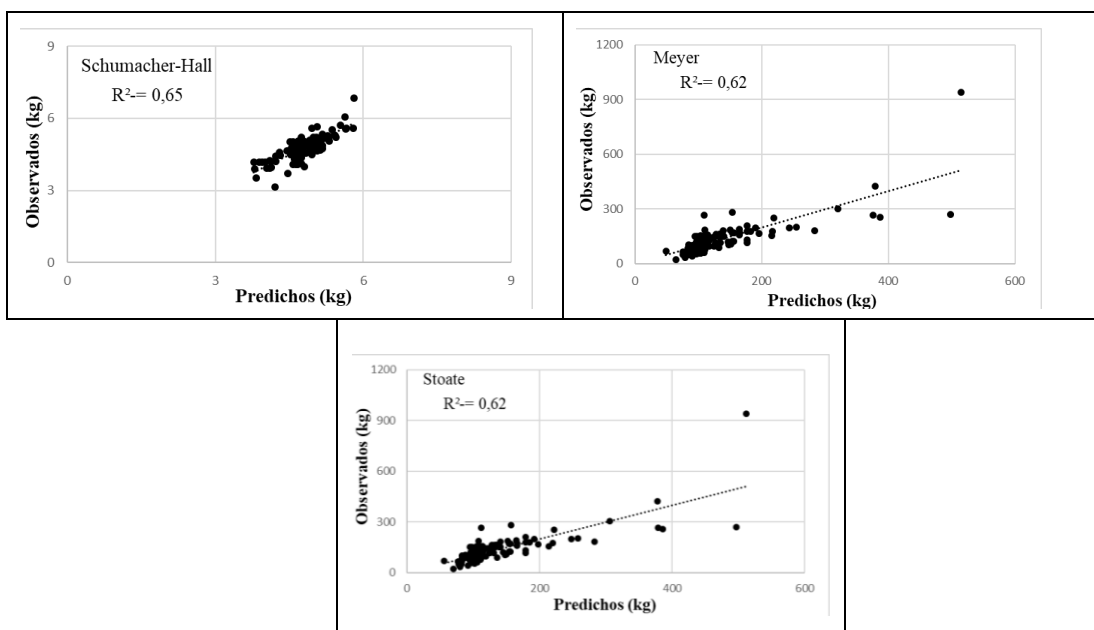
**Figura 9**

*Valores observados vs predichos de otros autores del bosque de Tumbabiro*



**Figura 10**

*Valores observados vs predichos de otros autores del bosque de La Concepción*



#### 4.5 Comparación de contenido de carbono fijo

Utilizando el programa infostat se realizó una prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, demostrando que ninguno de los dos bosques posee una distribución normal. Posteriormente con esos resultados se realizó una prueba de U de Mann-Whitney para la comparación de carbono fijo existente en el bosque de Tumbabiro y bosque de La Concepción como se indica en la tabla 9.

El p-valor es inferior a 0,05 el cual nos indica una significativa diferencia entre la media de carbono fijo en el bosque de Tumbabiro con 41,56 y el bosque de La Concepción con 138,51.

**Tabla 9**

*Comparación de carbono fijo*

Prueba U de Mann-Whitney	
Media bosque de Tumbabiro	41,56
Media bosque de La Concepción	138,51
p-valor	<0,0001

Los resultados obtenidos en esta investigación son diferentes, esto puede ser debido a factores como la influencia de la gradiente que fue estudiado por (Cueva, Lozano, & Yaguana, 2019); (Aguirre, 2017) menciona las condiciones climáticas que difieren o pueden ser similares en otras áreas de Ecuador; (Aguirre, 2012) manifiesta que las actividades humanas pueden hacer un gran impacto a estos ecosistemas; (Córdova, 2020) observó la importancia de la edad de los individuos; las especies que forman la estructura del bosque seco halladas por (Chimarro, 2021), (Cerón, 2019) y (Aguirre, 2012); hay. sin embargo, otras explicaciones posibles u otros factores.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- En el bosque de Tumbabiro se llegó a determinar un valor de carbono fijo inferior al promedio encontrado en los bosques secos del Ecuador. Por otra parte, el bosque de La Concepción si presentó valores cercanos a los reportados en otros estudios de este tipo de ecosistemas.
- Los modelos con mejor ajuste fueron aquellos donde se utilizó transformaciones de potencias y logaritmo natural de las variables de dap, altura y densidad básica, los cuales poseen una alta confiabilidad al momento de calcular el carbono fijo en condiciones similares a este estudio, con un  $r^2$  de 0,76 en el bosque de Tumbabiro y 0,90 en el bosque de La Concepción.
- Se encontró que ninguno de los dos bosques posee una distribución normal y presentan una diferencia significativa de la media del carbono fijo.

## 5.2 Recomendaciones

- Se necesita más investigación como composición florística y estructura, para incrementar el entendimiento sobre los factores que pueden influenciar las diferencias de datos halladas en este estudio.
- Se recomiendan investigaciones adicionales como biomasa subterránea, para determinar definitivamente los modelos alométricos generados en la presente investigación.
- Esta información puede ser utilizada para desarrollar intervenciones de manejo destinadas al incremento de los bosques secos de la zona 1.
- Este tipo de investigación permitirá incrementar el conocimiento a los estudiantes de la carrera de ingeniería forestal de la ciudad de Ibarra y también a los estudiantes de todas las carreras de ingeniería del país.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M., Quednow, K., Etchevers, J., & Monreal, C. (Octubre de 2001). Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. En INIFAP (Colegio de Postgraduados), *Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Simposio Internacional, Valdivia, Chile.
- Aguirre, N. (2017). *Captura de carbono en el comportamiento leñosos del bosque seco en la provincia de Loja con perspectivas de mercado* (tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Aguirre, N., Erazo, A., & Granda, J. (2017). Posibilidades de comercialización de bonos de carbono del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques latitud cero*, 7(2), 98-115.
- Aguirre, Z. (2012). Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO-Finlandia. Quito, Ecuador, 140p.
- Aguirre, Z., Kvist, P., & Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Universidad Mayor de San Andrés*, 162-187.
- Al Costa. (2013). *Biomasa y Biocombustibles*. Recuperado de <http://www.amvediciones.com/byb.htm>.
- Álvarez, E., Saldarriaga, J.G., Duque, A.J., Cabrera, K.R., Yepes, A.P., Navarrete, D.A., & Phillips, J.F. (2011). *Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., 26 p.



- Añazco, M., M. Morales, W. Palacios, E. Vega, A. Cuesta. (2010). “Sector Forestal Ecuatoriano: propuestas para una gestión forestal sostenible”. Serie Investigación y Sistematización No. 8. Programa Regional Ecobona-intercooperation. Quito.
- Arellano Martin, F., J.L. Andrade. (2016). Aspiradoras verdes: captura de carbono en bosques tropicales. *Conabio. Biodiversitas*, 125:1-7.
- Bajaña, S. (2016). *Estructura vegetal del bosque y su contribución al acaptación de carbono en la reserva Pedro Franco Dávila Jauneche- Ecuador. año 2015. Propuesta de oferta de carbono* (tesis de maestría). Recuperado de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1696/1/T-UTEQ-0010.pdf>.
- Barrantes, G., Chaves, H., & Vinuesa, M. (2001). *El Bosque en el Ecuador Una vision transformada para el desarrollo y la conservación*. Quito, Ecuador: Comafors.
- Benjamín, J. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques*, 7 (1), 3-12.
- Cañarte, F. (2014). *Determinación de captura de carbono por la familia Moraceae como aporte a la declaratoria de reserva ecológica del bosque ULEAM El Carmen, 2013* (tesis de maestría). Universidad Layca Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.
- Cárdenas, L. (2012). *Biomasa y depósitos de carbono en bosques en regeneración del ecoparque Bataclán (Cali, Colombia)* (tesis doctoral). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Carlosama, D. (2021). *Carbono aéreo almacenado en un bosque nativo de Oreopanax ecuadorensis Seem en San Francisco de Chorlavi, parroquia Caranqui, provincia de Imbabura* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

- Carrera, A., & Guachi, S. (2018). *Evaluación de carbono fijo en páramo andino mediante la estimación de biomasa en la reserva Sabia Esperanza* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Casanova, F., Petit, J., & Solorio, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1),133-143.
- Cerón, C., & Rojas, M. (2019). *Plantas del matorral seco montano en Yachay*. Urcuquí: Universidad Central del Ecuador. Recuperado de [https://fieldguides.fieldmuseum.org/sites/default/files/rapid-color-guides-pdfs/1135\\_ecuador\\_plants\\_yachay\\_dry\\_montane.pdf](https://fieldguides.fieldmuseum.org/sites/default/files/rapid-color-guides-pdfs/1135_ecuador_plants_yachay_dry_montane.pdf)
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017*. Quito.
- Collahuazo, & Taicud. (2018). “*Evaluación de carbono fijo en bosque nublado en la reserva Sabia Esperanza ubicada en Imbabura-Ecuador*” (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2018). *Registro Oficial 449 de 20-oct.2008*. Quito.
- Córdova, M. (2020). *Determinación del carbono aéreo de dos bosques secundarios, en la zona de Intag-Imbabura* (tesis de pregrado), Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Cueva, E., Lozano, D., & Yaguana, C. (2019). Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador. *Bosque*, 40 (3), 365-378. doi: 10.4067/S0717-9200201900030036.
- Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, A., & Etchevers, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1), 25-34.

- Duque, D. (2017). *Determinación de la captura de carbono aéreo y la influencia del manejo en plantaciones de pinus patula Schl. et Cham., en Lasso, provincia de Cotopaxi, Ecuador* (tesis de maestría). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- FAO. (1997). *Estimación de la biomasa y el cambio de biomasa de los bosques tropicales*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/W4095E/w4095e00.htm#Contents>
- FAO. (2003). *Agroforestería para la Producción Animal en América Latina - II - Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica (Agosto de 2000-Marzo de 2001)*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/y4435s/y4435s00.htm#Contents>
- FAO. (2008). *Evaluación de los recursos forestales nacionales destinados a fra*. Departamento Forestal. Recuperado de <https://www.fao.org/publications/card/es/c/d4e9fd46-366c-4284-9702-067895ee3c5b/>
- FAO. (2010). Metodología para desarrollar el estudio piloto de la ENF en conformidad con el mecanismo REDD+. *Evaluación Nacional Forestal*. Quito, Ecuador.
- FAO. (2020). *Evaluación de los recursos mundiales 2020*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/cb0102es/cb0102es.pdf>
- Flor, J. (2021). *Almacenamiento del carbono en biomasa aérea viva en un gradiente altitudinal de un bosque seco en Santa Ana, Manabí, Ecuador* (tesis de pregrado). Universidad Estatal del sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador.
- Fondo regional del agua. (2019). *Fondo ambiental y de agua*. Recuperado de [http://www.foragua.org/?page\\_id=1427](http://www.foragua.org/?page_id=1427)

- Fundación empresas Polar. (2018). *El mundo de la química*. Recuperado de <http://bibliofep.fundacionempresaspolar.org/publicaciones/colecciones/el-mundo-de-la-quimica/>
- Gallardo, J., & González, I. (2007). Capacidad de captura de C de suelo de castañares del oeste español. *Red Pocaiba*, Salamanca, España.
- García, G. (2011). El bosque en palabras. *ResearchGate*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/286442241\\_El\\_bosque\\_en\\_palabras\\_The\\_forest\\_in\\_words](https://www.researchgate.net/publication/286442241_El_bosque_en_palabras_The_forest_in_words)
- Guerrero, H., & Imbaquingo, J. (2020). *Diversidad y potencial de almacenamiento de carbono de un bosque secundario en la cuenca media del río Intag* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Instituto nacional de estadísticas y censos. (Agosto de 2017). *Ecuador en cifras*. Recuperado de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Sistema\\_Estadistico\\_Nacional/Planificacion\\_Estadistica/Plan\\_Nacional\\_de\\_Developmento\\_2017\\_2021/Objetivos/Objetivo\\_3/3.4-FM-Deforestacion.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Sistema_Estadistico_Nacional/Planificacion_Estadistica/Plan_Nacional_de_Developmento_2017_2021/Objetivos/Objetivo_3/3.4-FM-Deforestacion.pdf)
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Recuperado de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- Juan, C. (2021). *Composición florística y estructural del bosque seco, comunidad El Rosal, La Concepción, Mira* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Jumbo Salazar, C., Arévalo Delgado, C., & Ramírez-Cando, L. (2018). Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas-Limón Indaza, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la vida*, 51-63.

- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos, los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas -posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido-*. República Federal de Alemania.
- López, O., Pérez, R., & Mariscal, E. (2015). Diversidad de árboles y arbustos en fragmentos de bosque seco tropical en río Hato. *Colombia forestal*, 18 (1), 105-115.
- Ministerio del ambiente. (2012). *Proceso metodológico para el desarrollo de modelos alométricos para especies, grupo de especies y estratos de bosques del Ecuador*. Recuperado de <https://docplayer.es/24867640-Proceso-metodologico-para-el-desarrollo-de-modelos-alometricos-para-especies-grupo-de-especies-y-estratos-de-bosques-del-ecuador.html>
- MAE;FAO. (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales*. Recuperado de <https://www.fao.org/documents/card/es/c/03d7d6e9-76a4-41bf-b16a-d05e06f0be0b/>
- Maza, W. (2019). *Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador (Tesis Doctoral)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Medina, J. (2018). *Diversidad florística y estimación de la captura de carbono en tres ecosistemas del parque universitario "Francisco Vivar Castro", cantón Loja, Ecuador (Tesis de Grado)*. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Minda, S. (2015). *Evaluación de bienes y servicios ambientales relevantes de los ecosistemas asociados a la línea férrea Ibarra-Salinas (tesis de pregrado)*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2004). *Biblioteca del Ministerio del Ambiente del Ecuador*. Recuperado de [http://enf.ambiente.gob.ec/web\\_enf/documentos/enf-ManualCampo.pdf](http://enf.ambiente.gob.ec/web_enf/documentos/enf-ManualCampo.pdf)
- Ministerio del ambiente. (2012). *Manual de campo*. Recuperado de [http://enf.ambiente.gob.ec/web\\_enf/documentos/enf-ManualCampo.pdf](http://enf.ambiente.gob.ec/web_enf/documentos/enf-ManualCampo.pdf)
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014). *Evaluación Nacional Forestal Resultados*. Recuperado de <http://geonetwork.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/MAE+2014a.+Evaluacion+Nacional+Forestal++Resultados.pdf/3733cfe0-c2e5-4813-95af-8197533bd3a3;jsessionid=5rK0xP7SIgcwsdNHYZzQP7Go?version=1.0> Madrid
- Ordoñez, J. (2008). Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales . *Ciencias*, 90, 37-42.
- Paladines, R. (2003). Propuesta de conservación del Bosque seco en el Surde Ecuador. *Lyonia*, 4 (2), 183-186.
- Pardos, J. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Madrid, España: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- PDOTCARCHI. (2015-2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia del Carchi*. Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia del Carchi, Prefectura del Carchi, Tulcán, Ecuador.
- PDOTImbabura. (2015-2035). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Imbabura*. Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Imbabura, Prefectura de Imbabura, Ibarra, Ecuador.
- PDOTLa Concepción. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Rural La Concepción* . GAD Parroquial Rural La Concepción, Mira, Ecuador.

- PDOTTumbabiro. (2015). *plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Tumbabiro*. Prefectura de Imbabura, Urcuquí, Ecuador.
- Phillips, J.F., Duque, A.J., Yepes, A.P., Cabrera, K.R., García, M.C., Navarrete, D.A., Álvarez E., Cárdenas, D. (2011). Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos analíticos. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales -IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 68 pp.
- Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción*. Recuperado de <https://rmportal.net/library/content/manual-ecuaciones-alometricas-volumen-biomasa-arboles/view>
- Pimienta, D., Cabrera, G., Oscar, C., & Hernández, F. (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1), 35-46.
- Pineda, d. R., Ortiz, G., & Sánchez, L. (2005). Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques*, 11(2), 3-14.
- Powers, J. (2019). ¿Serán vulnerables los bosques tropicales secos a los cambios climáticos, y cuales serán sus efectos sociales? *Uned Research Journal*, 11(1), 18-23.
- Quimis, J. (2016). *Regeneración natural de especies forestales nativas y su incidencia en la conservación del bosque de la granja experimental Andil, Jipijapa, año 2015. Plan de manejo*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- Quishpe, D. (2015). *Influencia de la diversidad y estructura arbórea sobre la regeneración natural en el bosque seco tropical de la reserva ecológica Arenillas (REA) (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

- Ramírez Flores, V.A., L. Aranda Delgado, V. Gray Rico. (2018). La resiliencia del bosque seco tropical: un seguro de vida para su conservación. *Conabio. Biodiversitas*, 137: 12-16.
- Ramírez, J., & Chagna, E. (2019). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus grandis* W. Hill. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(1), 86-97.
- Ramirez, G., Dupuy, J., Ramirez, L., & Solorio, F. (2017). Evaluación de ecuaciones alométricas de biomasa epigea en una selva mediana subcaducifolia de Yucatán. *Madera y Bosques*, 23 (2 ), 163-179.
- Ramírez, L., & Zamora, W. (2019). *Evaluación de la biomasa aérea y carbono fijo en el bosque nativo de la comunidad Rancho Chico, sector Cochapamba-Imbabura* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Real Academia Española. (2020). *Diccionario de la Lengua Española* [ versión electrónica] Recuperado de <https://dle.rae.es/carbono>
- Real Jardín Botánico, CSIC. (Noviembre de 2011). Bosques en el mundo II Talleres de botánicas. Recuperado de [http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/didactica/Bosques\\_del\\_Mundo\\_Nivel\\_2.pdf](http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/didactica/Bosques_del_Mundo_Nivel_2.pdf)
- Rojas-Salvatierra, J., Garrido-Pérez, E. I., Rueda-Serrano, V., Cárdenas, M., Pérez-Almeida, I., Torres, A., . . . Mielles, D. (2020). ¿Cuán importantes son los bosques secos para las urbanizaciones? El caso de Daule, Ecuador. *Tecnociencia*, 22 (2). Recuperado de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/224/2241149011/html/>
- Ruiz, I., & Tinoco, H. (2013). “*Cuantificación de las reservas de carbono en bosque seco dentro de tres áreas de conservación del programa socio bosque en el cantón Zapotillo, provincia de Loja*” (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Salas Macías, C. A., Montes Escobar, K., Sánchez Sancán, G., Alcívar Chávez, W., Murillo Chóez, A., Vera Cedeño, F., Bolcato Bolcato, D., & Iglesias-Abad, S. (2020).



*Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva y en suelos del "Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands".* Joa, Jipijapa: Ecosistemas, 29(2), 1973. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1973>

Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2001). *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*. Recuperado de [https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Manual\\_de\\_procedimiento\\_para\\_inventarios\\_de\\_carbono\\_en\\_ecosistemas\\_forestales.pdf](https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Manual_de_procedimiento_para_inventarios_de_carbono_en_ecosistemas_forestales.pdf)

Secretaria Nacional de Planificación. (2021). *Plan de creación de oportunidades 2021-2025*. Recuperado de <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de-Creacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>

Solano, D., Carlos, V., & Eras, V. H. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *Revista Cedamaz*, 4(1), 32-44. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/227/208>

Tabango, B. (2020). *Determinación del carbono aéreo almacenado en dos sistemas agroforestales en la granja de Yuyucocha* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Torres, J., & Guevara, A. (2002). El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica*, 63, 40-59.

Torres-Torres, J. J., Mena-Mosquera, V. E., & Álvarez-Dávila, E. (2017). Carbono aéreo almacenado en tres bosques del jardín botánico del Pacífico. *Entramado*, 13(1), 200-209.

- Zambrano, G. (2020). *Uso de imágenes satelitales, ecuaciones alométricas y validación de campo para la cuantificación de biomasa aérea y stock de carbono en un bosque remanente de vegetación de Valle Seco Interandino de la Provincia de Pichincha, Ecuador* (tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Zuluaga, L., & Castro, E. (2018). Valoración de servicios ambientales por captura de CO<sub>2</sub> en un ecosistema de bosque seco tropical en el municipio de Bolívar, Colombia. *Luna Azul*, 47, 01-20. doi: 10.17151/luaz.2019.47.1.



**Tabla 11***Individuos en regeneración natural del bosque de La Concepción*

Parcela	Familia	Nombre Científico	Número de individuos
Parcela 1	Euphorbiaceae	<i>Croton elegans</i>	6
	Compositae	<i>Compositae</i>	60
	Lamiaceae	<i>Salvia humboldtiana</i>	20
	Verbenaceae	<i>Lantana rugosa</i>	1
	Malvaceae	<i>Abutilon ibarrense</i>	1
	Poaceae	<i>Pappophorum pappiferum</i>	62
Parcela 2	Euphorbiaceae	<i>Croton elegans</i>	10
	Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i>	2
	Poaceae	<i>Pappophorum pappiferum</i>	15
	Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i>	3
	Compositae	<i>Parthenium hysterophorus</i>	13
	Lamiaceae	<i>Salvia humboldtiana</i>	1
Parcela 3	Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i>	2
	Euphorbiaceae	<i>Croton elegans</i>	4
	Poaceae	<i>Pappophorum pappiferum</i>	8
	Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i>	1
<b>TOTAL:</b>			<b>209</b>

**Tabla 12***Individuos en regeneración natural del bosque de Tumbabiro*

Parcela	Familia	Nombre Científico	Número de individuos
Parcela 1	Fabaceae	<i>Caesalpinia espinosa</i>	3
	Asteraceae	<i>Baccharis latifolia</i>	64
	Lamiaceae	<i>Leonotis nepetifolia</i> )	26
	Solanaceae	<i>Capsicum rhomboideum</i>	18
Parcela 2	Euphorbiaceae	<i>Croton elegans</i>	6
	Fabaceae	<i>Caesalpinia espinosa</i>	15
	Crassulaceae	<i>Kalanchoe laxiflora</i>	5
	Lamiaceae	<i>Leonotis nepetifolia</i>	223
	Brassicaceae	<i>lepidium quitense</i>	7
	Malvaceae	<i>Sida cordifolia</i>	2
Parcela 3	Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i>	2
	Fabaceae	<i>Caesalpinia espinosa</i>	5
	Euphorbiaceae	<i>Croton elegans</i>	6
	Crassulaceae	<i>Kalanchoe laxiflora</i>	217
	Bromeliaceae	<i>Racinaea fraseri</i>	6
	Malvaceae	<i>Melochia mollis</i>	4
	Verbenaceae	<i>Lantana camara</i>	2
	Malvaceae	<i>Sida poeppigiana</i>	3
<b>TOTAL:</b>			<b>614</b>

**7.2 ANEXO B-FIGURAS****B1. Fase de campo**



Fotografía 1 Delimitación del área



Fotografía 2 Toma de datos



Fotografía 3 Toma de muestra de fuste



Fotografía 4 Recolección de muestras de detritus

## B2. Fase de laboratorio



Fotografía 5 Pesado de muestras



Fotografía 6 Secado en estufa

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Acción antrópica:** cualquier acción o intervención realizada por el ser humano sobre la faz del planeta.

**Aclareo:** eliminación de árboles o plantas en un terreno.

**Biogeoquímicos:** estudia la interacción entre los compuestos geoquímicos y los organismos vivos. La biogeoquímica es necesaria para comprender el funcionamiento de los seres vivos, desde el nivel de organización celular hasta el ecosistema que conforman.

**Biomasa:** es el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial.

**Bosque seco:** es un ecosistema de semidensa o densa vegetación con árboles, una de sus principales características es que prevalece el clima seco mientras que los estacionales lluviosos son breves en comparación.

**Caducifolias:** hace referencia a los árboles o arbustos que pierden su hoja durante una parte del año.

**Calentamiento global:** es el aumento a largo plazo de la temperatura media del sistema climático de la Tierra.

**Cambio climático:** hace referencia a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos.

**Carbono almacenado:** es la cantidad total de Carbono contenida por la biomasa.

**Cuenca media:** es donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en la que el río principal mantiene un cauce definido.



**Deforestación:** es un proceso provocado por la acción de los humanos, en el que se destruye o agota la superficie forestal, generalmente con el objetivo de destinar el suelo a otra actividad.

**Densidad básica:** es la relación entre el peso mínimo del material, es decir seco en estufa a 105-110°C, y su volumen verde, como se halla en el apeo del árbol.

**Deterioro:** empeoramiento del estado, calidad, valor, etc., de una cosa.

**Detritus:** es el resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas.

**Dosel:** se define como el estrato superior de un bosque o ecosistema con plantas leñosas, que consta de hojas, ramas de árboles y arbustos o ambos.

**Ecosistemas:** sistema biológico constituido por una comunidad de seres vivos y el medio natural en que viven.

**Erosión:** desgaste y modelación de la corteza terrestre causados por la acción del viento, la lluvia, los procesos fluviales, marítimos y glaciales, y por la acción de los seres vivos.

**Frontera agrícola:** es el límite que separa las áreas para actividades agropecuarias, de aquellas para la conservación o protección de la biodiversidad

**Gases de efecto invernadero:** gases que por sus altas concentraciones en la atmósfera contribuyen al efecto invernadero en el planeta.

**Hábitat:** conjunto de factores físicos y geográficos que inciden en el desarrollo de un individuo, una población, una especie o grupo de especies determinados.

**Horizonte orgánico:** formado (o en formación) por una acumulación de materia orgánica depositada en la superficie del suelo.

**In situ:** es una expresión latina que significa 'en el sitio' o 'en el lugar', y que suele utilizarse para designar un fenómeno observado en el lugar, o una manipulación realizada en el lugar.

**Mercados de carbono:** son el espacio donde las empresas que trabajan con bonos de carbono pueden comerciar con ellos para transferirse los derechos de emisiones de GEI

**Mitigación del cambio climático:** se podría definir como la acción y efecto de moderar, aplacar, disminuir o suavizar las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) cuyos niveles actuales nos han llevado a la situación de emergencia climática en la que nos encontramos.

**Modelos alométricos:** son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el VBC en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho (dap) y/o la altura total.

**Parcela:** parte en que se divide un terreno agrícola o urbanizado en el campo.

**Parcela anidada:** parcela de menor tamaño incluidas en una parcela de mayor, tamaño para mejorar la toma de datos.

**Patrimonio natural:** está constituido por monumentos naturales construidos por formaciones físicas y biológicas, es decir, estas fueron creadas poco a poco a lo largo del tiempo por la naturaleza.

**Peso anhidro:** la materia seca o extracto seco es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio.

**Predio:** finca, tierra o posesión inmueble.

**Productos forestales maderables:** bienes obtenidos del resultado de un proceso de transformación de materias primas maderables, con otra denominación, nuevas características y un uso final distinto.

**Productos forestales no maderables:** son bienes de origen biológico, distintos de la madera, derivados del bosque, de otras áreas forestales y de los árboles fuera de los bosques.

**Ramoneo:** El ramoneo es una forma de alimentación en que un herbívoro se alimenta de hojas, brotes tiernos o frutos de plantas de alto crecimiento, generalmente leñosas, como los arbustos.

**Secuestro de carbono:** es una medida del flujo dinámico del crecimiento anual de la biomasa.

**Servicios ambientales:** son aquellos que la naturaleza o los procesos ecológicos proveen a los seres vivos y al planeta.

**Sostenible:** describe cómo los sistemas biológicos se mantienen productivos con el transcurso del tiempo.

**Subparcela:** subdivisión de la parcela.

**Sumidero de carbono:** es un depósito natural o artificial de carbono, que absorbe el carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> del aire.