



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**ESTIMACIÓN DE CARBONO FIJO ALMACENADO EN LA  
MADERA DE UNA ESPECIE FORESTAL COMERCIAL EN EL  
CANTÓN GONZALO PIZARRO, PROVINCIA DE SUCUMBIOS**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO FORESTAL**

**AUTOR:**

**JHONNATHAN PATRICIO SILVA ALVARADO**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**ESTIMACIÓN DE CARBONO FIJO ALMACENADO EN LA  
MADERA DE UNA ESPECIE FORESTAL COMERCIAL EN EL  
CANTÓN GONZALO PIZARRO, PROVINCIA DE SUCUMBIOS**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO FORESTAL**

**AUTOR:** JHONNATHAN PATRICIO SILVA ALVARADO

**DIRECTOR:** Ing. EDUARDO PATRICIO SALAZAR CASTAÑEDA M. Sc.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Jhonnathan Patricio Silva Alvarado**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Jhonnathan Patricio Silva Alvarado, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de mayo del 2023






**Jhonnathan Patricio Silva Alvarado**

**172501193-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ESTIMACIÓN DE CARBONO FIJO ALMACENADO EN LA MADERA DE UNA ESPECIE FORESTAL COMERCIAL EN EL CANTÓN GONZALO PIZARRO, PROVINCIA DE SUCUMBIOS**, realizado por el señor: **JHONNATHAN PATRICIO SILVA ALVARADO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Vilma Fernanda Noboa Silva M. Sc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-05-31
Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda M. Sc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-31
Ing. Miguel Ángel Gualpa Calva M. Sc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-31

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro muy importante al ser espiritual que siempre ha estado conmigo desde el principio, para ti mi Dios. A mi madre por siempre inculcarme buenos valores desde niño, que siempre ha estado conmigo en cada momento, por darme su bendición, su amor y cariño, la que siempre confiaba y me decía que podía hacer cualquier cosa que me proponga, ella mi madre que ha sido mi inspiración y mi empuje para salir adelante, Gracias por darme la vida, la amo mucho. A mis abuelos por criarme y llevarme por el camino del bien, por convertirme en la persona que soy, por siempre darme su bendición y creer en mí, por hacerme ver que la vida no es fácil y hay que luchar y trabajar para tener un centavo. A mis tías y primos por criarme de niño, por convertirme como su hermano, por siempre darme consejos precisos y hacerme siempre barras en cada momento. A mis hermanos por ser ese motor indispensable por el cual luchar, a ellos que con este logro ayudare a que me tomen como ejemplo y persigan sus sueños, y me han brindado todo el amor del mundo. A mis sobrinos por brindarme la oportunidad de ser tío y por la cual soy muy feliz de tenerlos, a ellos que son mi inspiración y mis niños del alma. A mi pareja, enamorada, mejor amiga y consejera, Gabriela Vargas que ha sido la mejor persona que pude conocer en mi vida, la que me brindó su cariño y confianza, la que siempre me hacía porras para que nunca desmaye y siga adelante, la que estuvo conmigo en casi toda mi carrera universitaria y la que me ayudo también con mi trabajo de integración curricular. En fin, toda mi familia y pareja son todo para mí, y espero que este no sea el ultimo logro que consiga en mi vida, si no que vengan muchos más para seguirles dedicando todas mis metas alcanzadas. Recuerden que todo lo que hago es por ustedes, para que se sientan muy orgullosos de mí, los amo muchísimo son todo para mí.

Jhonnathan

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios por no abandonarme jamás, y por siempre iluminar mi camino ante cualquier situación, por darme salud, fortaleza, responsabilidad y sabiduría. A mi madre, por ser la mejor del mundo, por haber estado conmigo en todos los momentos buenos y malos, por dedicar tiempo y esfuerzo para ser un hombre de bien, por ayudarme desde un principio a que estudie en otra ciudad, darme ese apoyo incondicional y darme excelentes consejos en toda mi vida universitaria. Agradezco a mis abuelos por su plena confianza y sus oraciones, por ayudarme con un techo donde vivir y un plato de comida, por todas sus bendiciones y buenos deseos para que pueda seguir adelante y saque en alto a toda la familia Alvarado Velastegui. A mi padre por brindarme su bendición, su apoyo económico y consejos que a la larga me ayudado a poder mantenerme en otra ciudad y dándole con todo en mis estudios. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a sus autoridades y profesores, por abrirme sus puertas y darme la confianza necesaria para triunfar en la vida y transmitir sabiduría para mi formación profesional. Agradezco a mi tribunal conformado por los ingenieros Eduardo Salazar y Miguel Guallpa por ayudarme en este trayecto de mi trabajo de integración curricular, por sus aportes académicos, consejos, sapiencias y la paciencia necesaria para poder culminar exitosamente con mi trabajo de investigación. Por último, quiero agradecer a toda mi familia y amigos que siempre han estado conmigo, que han creído en mí y me han ayudado con todo este trayecto y experiencia bien bonita que fue la universidad.

Jhonnathan

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. Problema de la investigación.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Hipótesis.....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Cambio climático.....	6
2.2 Efecto invernadero.....	6
2.3 El carbono en ecosistemas forestales.....	7
2.3.1 <i>Carbono en vegetación</i> .....	7
2.3.2 <i>Carbono en el suelo</i> .....	7
2.3.3 <i>Carbono en productos forestales</i> .....	8
2.4 Plantaciones forestales.....	8
2.4.1 <i>Plantaciones con fines de producción o fines de comercialización</i> .....	8
2.5 Identificación de especies forestales.....	9
2.6 Herbario.....	9
2.6.1 <i>Importancia</i> .....	9
2.6.2 <i>Dendrología</i> .....	10
2.6.3 <i>Caracterización dendrológica</i> .....	10
2.6.4 <i>Caracterización dendrológica de especies forestales</i> .....	10
2.6.5 <i>Características Taxonómicas</i> .....	11
2.6.6 <i>Procesos para identificación de especies forestales</i> .....	11



<b>2.7</b>	<b>Madera</b> .....	12
<b>2.7.1</b>	<b>Composición de la madera</b> .....	12
<b>2.7.2</b>	<b>Tipos de maderas</b> .....	12
<b>2.7.3</b>	<b>Propiedades de la madera</b> .....	13
<b>2.7.4</b>	<b>Propiedades físicas de la madera</b> .....	13
<b>2.7.5</b>	<b>Factores que influyen en las propiedades físicas</b> .....	13
<b>2.7.5.1</b>	<b>Densidad de la madera</b> .....	14
<b>2.7.5.2</b>	<b>Agua en la Madera</b> .....	14
<b>2.7.5.3</b>	<b>Higroscopicidad de la madera</b> .....	14
<b>2.7.5.4</b>	<b>Contenido de humedad</b> .....	14
<b>2.7.6</b>	<b>Propiedades químicas de la madera</b> .....	15
<b>2.7.6.1</b>	<b>Material volátil</b> .....	15
<b>2.7.6.2</b>	<b>Contenido de cenizas</b> .....	15
<b>2.7.7</b>	<b>Elementos químicos de la madera</b> .....	16
<b>2.8</b>	<b>Carbono</b> .....	16
<b>2.8.1</b>	<b>Reductor de carbono</b> .....	16
<b>2.8.2</b>	<b>Ciclo del carbono</b> .....	17
<b>2.9</b>	<b>Carbón</b> .....	17
<b>2.10</b>	<b>Fijación de carbón en especies forestales</b> .....	17
<b>2.11</b>	<b>Normas técnicas para laboratorio</b> .....	18
<b>2.11.1</b>	<b>Normas INEN</b> .....	18
<b>2.11.2</b>	<b>Normas ISO</b> .....	19

### CAPITULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	20
<b>3.1</b>	<b>Enfoque de investigación</b> .....	20
<b>3.2</b>	<b>Tipo de estudio</b> .....	20
<b>3.3</b>	<b>Diseño</b> .....	20
<b>3.3.1</b>	<b>Tratamientos</b> .....	20
<b>3.3.2</b>	<b>Variables de estudio</b> .....	21
<b>3.3.3</b>	<b>Análisis Estadístico</b> .....	21
<b>3.4</b>	<b>Técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	21
<b>3.4.1</b>	<b>Características del lugar</b> .....	21
<b>3.4.1.1</b>	<b>Área de estudio</b> .....	21
<b>3.4.1.2</b>	<b>Ubicación geográfica</b> .....	22
<b>3.4.1.3</b>	<b>Características climáticas</b> .....	22

3.4.1.4	<i>Clasificación ecológica</i> .....	22
3.4.2	<b>Materiales y equipos</b> .....	23
3.4.2.1	<i>Equipos de campo</i> .....	23
3.4.2.2	<i>Materiales de campo</i> .....	23
3.4.2.3	<i>Equipos de laboratorio</i> .....	23
3.4.2.4	<i>Materiales de laboratorio</i> .....	23
3.4.2.5	<i>Material biológico y vegetativo</i> .....	24
3.4.2.6	<i>Materiales de oficina</i> .....	24
3.5	<b>Metodología</b> .....	24
3.5.1	<i>Para la ejecución del primer objetivo.</i> .....	24
3.5.2	<i>Para la ejecución del segundo objetivo.</i> .....	25
3.5.3	<i>Para la ejecución del tercer y último objetivo</i> .....	26

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	30
4.1	<i>Procesamiento, análisis e interpretación de resultados</i> .....	30
4.1.1	<i>Identificación dendrológica de la especie forestal</i> .....	30
4.1.1.1	<i>Clasificación taxonómica de Croton tessmannii</i> .....	30
4.1.1.2	<i>Descripción Botánica de Croton tessmannii Mansf.</i> .....	30
4.1.2	<i>Determinación del contenido de humedad de la madera Croton tessmannii Mansf.</i> 31	
4.1.2.1	<i>Análisis estadístico en la determinación del porcentaje de humedad</i> .....	31
4.1.3	<i>Estimación del material volátil de la madera de Croton tessmannii Mansf.</i> .....	32
4.1.3.1	<i>Análisis estadístico en la determinación del material volátil</i> .....	32
4.1.4	<i>Estimación del contenido de cenizas de la madera de Croton tessmannii Mansf.</i> .....	33
4.1.4.1	<i>Análisis estadístico en la determinación del contenido de cenizas</i> .....	33
4.1.5	<i>Estimación del carbono fijo de la madera de Croton tessmannii Mansf.</i> .....	34
4.1.5.1	<i>Análisis estadístico en la determinación del carbono fijo</i> .....	34
4.2	<b>Discusiones</b> .....	35

## CAPÍTULO V

CONCLUSIONES...	37
RECOMENDACIONES.....	38
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b> Formato empleado en la toma de datos para el contenido de humedad.....	25
<b>Tabla 2-3:</b> Formato empleado en la toma de datos para el material volátil.....	27
<b>Tabla 3-3:</b> Formato empleado en la toma de datos para el contenido de ceniza.....	28
<b>Tabla 4-3:</b> Formato empleado en la toma de datos para la estimación del carbono fijo.....	29
<b>Tabla 1-4:</b> Porcentaje de humedad de la madera de <i>Croton tessmannii</i> .....	31
<b>Tabla 2-4:</b> Prueba de normalidad.....	31
<b>Tabla 3-4:</b> Prueba de muestras independientes.....	32
<b>Tabla 4-4:</b> Porcentaje del material volátil en diferente sección.....	32
<b>Tabla 5-4:</b> Prueba de muestras independientes.....	33
<b>Tabla 6-4:</b> Porcentaje del contenido de cenizas en diferente sección.....	33
<b>Tabla 7-4:</b> Prueba de muestras independientes.....	34
<b>Tabla 8-4:</b> Porcentaje del carbono fijo en diferente sección.....	34
<b>Tabla 9-4:</b> Prueba de normalidad.....	35
<b>Tabla 10-4:</b> Prueba de muestras independientes.....	35

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

**Ilustración 1-3:** Ubicación del área de estudio para la especie *croton tessmannii* mansf.....22

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** RECOLECCIÓN DE LA MADERA

**ANEXO B:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS BOTÁNICAS

**ANEXO C:** PREPARACIÓN DE PROBETAS DE MADERA

**ANEXO D:** LABORES REALIZADAS EN LA FASE DE LABORATORIO

**ANEXO E:** DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HÚMEDAD

**ANEXO F:** DETERMINACIÓN DEL MATERIAL VOLÁTIL A PARTIR DE LA MADERA

**ANEXO G:** DETERMINACIÓN DE CENIZAS A PARTIR DE LA MADERA

**ANEXO H:** PRUEBA DE NORMALIDAD PARA LA VARIABLE MATERIAL VOLÁTIL

**ANEXO I:** PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL CONTENIDO DE CENIZAS

**ANEXO J:** BASE DE DATOS PARA LA VARIABLE HUMEDAD DE LA ESPECIE

**ANEXO K:** BASE DE DATOS DE MATERIAL VOLÁTIL DE LA ESPECIE

**ANEXO L:** BASE DE DATOS PARA CENIZA DE LA ESPECIE

**ANEXO M:** BASE DE DATOS PARA ESTIMAR EL CARBONO FIJO EN LA ESPECIE

**ANEXO N:** CERTIFICADO OTORGADO POR EL HERBARIO DE LA ESPOCH

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo el estimar la cantidad de carbono fijo almacenado en la madera de una especie forestal comercial en el cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos. Para la identificación de la especie, se recolectaron las muestras botánicas en el lugar de estudio y posteriormente las muestras se llevaron al herbario de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (CHEP), la cual se siguió con el procedimiento correspondiente para poder identificar dendrológicamente la especie en estudio. Para la estimación de la cantidad de carbono fijo almacenado en la madera de la especie comercial, se lo realizó en el laboratorio de química de la Facultad de Recursos Naturales, se utilizó 5 probetas de madera por sección, en donde se trabajó con 15 muestras del ápice y 15 de la base, es decir con un total de 30 probetas por los tres fustes en estudio, para ello se evaluó tres variables importantes para poder estimar la cantidad de carbono fijo, que fue el porcentaje de humedad, material volátil y contenido de ceniza, para ello se siguió con la metodología y las normativas técnicas del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) y American Society for Testing and Materials (ASTM) del carbón, para determinar análisis próximos de la madera. Los resultados mostraron que la especie identificada fue *Croton tessmannii* Mansf., para la determinación del porcentaje de humedad se obtuvo un mayor contenido en la sección del ápice con el 37,99 % en relación con la base, mientras que, para el carbono fijo, el ápice presentó mayor contenido con el 9,58 % no obstante, las dos secciones no mostraron tanta diferencia. Se concluye que la sección de madera con mayor contenido de humedad y carbono fijo fue el ápice, finalmente se recomienda realizar más estudios acerca del tema presentado en especies del género Croton.

**Palabras clave:** <DENDROLOGÍA>, <CARBONO FIJO>, <HUMEDAD EN MADERA>, <MATERIAL VOLÁTIL>, <CONTENIDO DE CENIZAS>, <HERBARIO>, <MADERA>.

  
D.B.R.A.I.  
Ing. Cristian Castillo



0978-UPT-DBRA-2023

## ABSTRACT

The aim of this research was to estimate the amount of fixed carbon stored in the wood of a commercial forest species in the canton of Gonzalo Pizarro, province of Sucumbíos. For the identification of the species, botanical samples were collected at the study site and later the samples were taken to the herbarium of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (CHEP), which was followed with the corresponding procedure to be able to identify the species under study dendrologically. For the estimation of the amount of fixed carbon stored in the wood of the commercial species, it was carried out in the chemistry laboratory of the Faculty of Natural Resources, using 5 wood samples per section, where 15 samples were taken from the apex and 15 from the base, that is, a total of 30 samples for the three shafts under study, Three important variables were evaluated to estimate the amount of fixed carbon, which were the percentage of moisture, volatile material and ash content, following the methodology and technical standards of the Ecuadorian Standardization Service (INEN) and the American Society for Testing and Materials (ASTM) for carbon, to determine the next analysis of the wood. The results showed that the species identified was *Croton tessmannii* Mansf., for the determination of the percentage of humidity, a higher content was obtained in the apex section with 37.99 % in relation to the base, while, for the fixed carbon, the apex presented a higher content with 9.58 %; however, the two sections did not show such a difference. It is concluded that the wood section with the highest content of moisture and fixed carbon was the apex, finally it is suggested to carry out more studies on the subject presented in species of the genus *Croton*.

**Key words:** <DENDROLOGY>, <FIXED CARBON>, <WETNESS IN WOOD>, <VOLATILE MATTER>, <CONTENT OF ASH>, <HERBARIAN>, <WOOD>.



Lcda. Elsa Basantes A. Mgs.  
C.I: 0603594409

## INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono corresponde a uno de los gases más sustanciales en toda la atmósfera, en el océano y la tierra, este gas tiene una alta presencia en la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que vienen a estar asociadas a actividades humanas, el CO<sub>2</sub> se desprende, ante todo, por el consumo de combustibles fósiles como lo es el carbón, petróleo, gas natural, la leña para generar poder calorífico, y por supuesto por la tala y quema de bosques. Se conoce que también es el segundo gas más importante dentro del calentamiento global después del vapor de agua. El dióxido de carbono tiene fuentes antrópicas y naturales. Cabe mencionar que dentro de todo el ciclo del carbono juega un rol principal en vastos procesos biológicos que de alguna manera son indispensables para la captura de carbono de biomasa (Benavides y León, 2007: p 36).

Las acciones humanas impulsan el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, una acción bien producida por el hombre como lo es la agricultura que aporta directamente al 14% de las emisiones generales del planeta de gases de efecto invernadero, un equivalente a 7 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por cada año, pareciéndose así a la parte del transporte. Así mismo, hay cambios en el uso de la tierra, sobre todo la deforestación causada por la parte agrícola en las zonas tropicales, estas de alguna manera corresponde un 17% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en todo el mundo (FAO, 2015; citado en Auquilla, 2016).

Por otro lado, el carbono se acumula en todo el ecosistema forestal a través de la absorción del dióxido de carbono de la atmósfera y su fijación en la necromasa y biomasa. Para la biomasa el carbono se almacena en toda la materia viva como lo es la madera en pie, las ramas, el follaje y las raíces, mientras que para la materia muerta se almacena en la hojarasca, los restos de madera, la materia orgánica del suelo y los productos forestales. Por ende, se puede manifestar que en cualquier intervención que afecte al volumen de la biomasa en la vegetación y el suelo va a tener capacidad para retener o liberar carbono de la atmósfera o hacia la atmósfera (FAO, 2001, p. 61).

Bajo esta perspectiva el presente trabajo se enfocó en la estimación de la cantidad de carbono fijo almacenado en la madera de una especie forestal que últimamente está siendo muy comerciada pero que aún no se puede definir exactamente su taxonomía completa, la especie está presente en el cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos. La investigación ayudará a poder contrarrestar los problemas del cambio climático y el efecto invernadero al menos en la parte local de la provincia ya mencionada, ya que sin duda es un gran aporte económico para el secuestro de carbono y brindar una gran ayuda en el ámbito socio-ambiental del sector, así mismo se dará un gran paso a la investigación científica de este tópico, y se incentivara para investigaciones futuras que se lo realizara seguramente con diferentes especies de un gran índole comercial.



# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

El tema de captación de carbono de especies forestales ha sido un tema que muy pocas personas lo investigan, o de alguna manera no se han involucrado, como se sabe el carbono nos permite respirar y de alguna manera se transfiere el carbono entre los seres vivos, de hecho los seres humanos estamos hecho de carbono, por ello se ha intentado de alguna manera poder cuantificar el carbono de una especie forestal comercial, debido a que no hay mucha investigación de esto y también poder conocer que beneficios nos trae el poder cuantificar carbono de biomasa, para después hacer un análisis de lo que provoca que el dióxido de carbono sea difícil de absorber y las problemáticas que pueden ocurrir a largo plazo en cuanto a la salud de todos los seres vivos.

La especie que se estudia en este proyecto resulta ser muy demandada por parte de algunos madereros de la zona, puesto que se ha venido trabajado últimamente mucho con este árbol comercial, de hecho mencionan algunos habitantes de la zona que posee muy buenas características en cuanto a su madera, sin embargo, no se sabe específicamente el nombre científico de la especie y sus propiedades que esta pueda tener, por ello se menciona este problema para poder identificar y estudiar más a fondo esta especie para que así se pueda brindar una buena información a las personas que están interesadas en este árbol comercial.

Por otro lado, también se valora mucho la parte ecológica de todo un sistema biológico y los servicios ambientales que nos pueda brindar, sin embargo, algunas personas no concientizan el valor que puede llegar a tener todo un recurso renovable y los elementos que lo poseen especialmente el carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, por lo tanto, no se aprovecha o se valora todo el alcance que podríamos tener en cuanto al sector ambiental. Debido a eso, la captura de carbono es una herramienta clave y estratégica para la protección y uso sostenible de la misma, pues pretende mostrar que el beneficio que resulta de dicha actividad puede ser beneficioso para el desarrollo sostenible, a comparación de actividades asociados a su mal manejo e irracionalidad (Rodríguez, 2014, pp.1-2).

## 1.2 Justificación

La investigación sin duda alguna impulsara a las personas a proteger y conservar los ecosistemas forestales y por ende el recurso del suelo que lo soporta, no sólo se inicia en el hecho de que se conforma un elemento propicio para la conservación del ambiente, por su papel en la merma de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, sino también por amplio valor de servicios como paisajístico, comercial y económico, asimismo se realizan otras funciones importantes para el buen funcionamiento de la biosfera tales como el sustento de la calidad del recurso del suelo, de la biodiversidad, su peso sobre los ciclos biogeoquímicos de los principales y conocidos elementos, el ciclo del agua o el albedo, igualmente la regulación del clima a escalas local y global, entre otras características que demuestren ya de por sí un estudio en profundidad de los mismos recursos (Carrasco, 2015, p.49).

Según Aragón & Martínez (2022, p.4), la justificación para la parte teórica y práctica de una investigación de este tipo, pretende a través de la utilización de revisión bibliográfica sobre la captura de carbono de las especies arbóreas y su valoración económica, poder influenciar en el proceso experimental de la investigación y dar como resultado una fuente confiable de información que servirán para futuras investigaciones debido a la escasez de estudios que existen respecto al tema de la captación de carbono.

Para la justificación ambiental, al estimar la cantidad de captura de carbono en la especie que se va a identificar y su respectiva valoración comercial, servirá para muchos fines, como el cuidado de la conservación de la zona y de las especies, así como un buen manejo de dichos recursos dentro de la zona que se estudia las diferentes especies (Aragón & Martínez, 2022: p.4).

Aportando con lo mencionado anteriormente, el presente proyecto de investigación desea contar con una amplia información actualizada, acerca de la especie que se está estudiando, y el efecto de la captación de carbono, pues se sabe que en los últimos años esta especie ha sido muy aprovechada por los madereros de la zona, por la calidad de madera que posee y el rápido crecimiento y desarrollo que esta tiene, toda esta información se obtuvo a través de conversatorios que se realizó con las personas del sector. Entonces se ha estudiado las causas, efectos y los puntos más importantes que se debe considerar sobre el tema planteado, ya que esto representa también un insumo económico muy importante para el desarrollo del sector ambiental y social, puesto que se puede sacar mucho provecho incluso con el tema del carbón de la especie forestal que se va a identificar, ya que eso vendría a formar parte de todos los bienes que ofrece los bosques.

### **1.3 Objetivos**

#### **Objetivo General**

Estimar la cantidad de carbono fijo almacenado en la madera de una especie forestal comercial en el cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos.

#### **Objetivos Específicos**

- Identificar dendrológicamente la especie forestal comercial.
- Determinar el porcentaje de contenido de humedad de la especie forestal comercial en estudio.
- Determinar el contenido de carbono fijo almacenado en el fuste de la especie forestal.

## **1.4 Hipótesis**

### **Nula**

No existe diferencia en el contenido de humedad y en la cantidad de carbono fijo almacenado en la base y en el ápice del fuste de la especie forestal.

### **Alternativa**

Va a existir al menos una diferencia en el contenido de humedad o en la cantidad de carbono fijo almacenado entre la base y el ápice del fuste de la especie forestal.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Cambio climático

El cambio climático es una alteración del clima que esta atribuido directa o indirectamente a la actividad del hombre que altera la composición de toda la atmosfera y que de alguna manera se suma a la variación natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables. Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el termino como tal denota un cambio en el estado del clima identificable, por ejemplo, a través de análisis estadísticos a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades (Díaz, 2012, p.4).

De acuerdo con Obando (2018, p.3) el Cambio Climático no es un fenómeno natural, el mundo estaba más bien yéndose hacia una nueva era del hielo. La emisión de gases de efecto invernadero por el ser humano lo han desviado hacia un calentamiento. Por ello el autor identificó 6 gases más perjudiciales y que de alguna manera afecta a todo el cambio climático, y estos gases son:

- El Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un gas producido por la utilización de combustibles fósiles (gas natural, carbono, petróleo y sus derivados) y leña para generar energía.
- El Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) es utilizado como materia prima en la industria química, este principalmente se produce por acciones de la agricultura.
- El Metano ( $\text{CH}_4$ ) es producido por el estiércol animal, sobre todo el del ganado vacuno.
- El Hidrofluorocarbono (DFC) es producido por las refrigeradoras y los aires acondicionados que se encuentran en la parte industrial o natural.
- El Sulfuro Hexafluoruro ( $\text{SF}_6$ ) es el gas de cubierta para la fundición del magnesio, además de gas aislante de la electricidad, y
- El Perfluorocarbono (PFC) es sumamente manejado para el lavado del metal y también es un representante de grabado en la producción de semiconductores.

#### 2.2 Efecto invernadero

El efecto invernadero es conocido como la absorción que realiza la atmósfera de la radiación térmica emitida, por el sol, por la tierra y por los océanos, ante todos estos sucesos la misión es propagar nuevamente hacia la tierra incrementando la temperatura de la superficie de la misma, dando así un proceso natural que permite que en nuestro planeta pueda existir vida. El efecto

invernadero es un problema derivado del cambio climático donde están actuando todos los gases de efecto invernadero ya conocidos, por ende, siempre se tendrá la preocupación y el interés de solucionar el control sobre este tópico que es un problema a nivel global (Mendoza de Armas & Jiménez, 2017: p.88).

A partir de algunos estudios dentro de lo que es la composición química de la atmósfera se sabe que gases están presentes en la atmósfera y en qué proporción están actuando, de estos los más importantes incluyen mayoritariamente a solo dos gases, que es el nitrógeno y el oxígeno, de las cuales en un 79% corresponde a lo que es el elemento Nitrógeno y en un 20% está presente el Oxígeno. Sin embargo, el 1% que sobra, está conformado por algunos gases que abundan por la atmósfera estos son el Argón en un 0.9% y el Dióxido de Carbono en un 0.03%. Cabe mencionar que el Dióxido de Carbono, aunque está presente en bajas proporciones, es un gas muy crítico en el proceso del calentamiento global (Caballero et al., 2007: p.3).

### **2.3 El carbono en ecosistemas forestales**

Luego que el dióxido de carbono realiza el proceso metabólico dentro de las plantas a través del proceso de la fotosíntesis, se desarrolla el alimento más importante y materia prima que es glucosa para que se pueda desarrollar las raíces, el tallo, hojas y ramas de todas las plantas, luego que el árbol crece, se puede formar una gran copa en la parte superior y obviamente su tronco, al que se puede denominar fuste, este cuando ya se encuentra en un periodo longevo produce mayor materia orgánica al suelo, misma que al degradarse se incorpora paulatinamente y se produce el humus estable, al mismo tiempo este producirá nuevamente CO<sub>2</sub> al entorno (Masera, 2001, pp. 5-6).

#### **2.3.1 Carbono en vegetación**

El carbono dentro de la parte vegetativa es la sumatoria del carbono que está contenido en la biomasa aérea y en la biomasa de las raíces. Cabe mencionar que en la biomasa aérea comprende la parte del tronco, hojas, ramas y todo el follaje que se encuentra en la copa de los árboles, mientras que la otra parte de biomasa viene a estar determinada en las raíces (Masera, 2001, p. 8).

#### **2.3.2 Carbono en el suelo**

Comprende que es el contenido de carbono que se encuentra dentro de las capas u horizontes del suelo del área forestal, por lo general el suelo que presenta es originado por fragmentación de la roca madre propensos al material parental, es ahí donde existe un organismo vegetal, que con el pasar del tiempo se va formando capas por el sedimento de materiales, en las que al momento de

irse acumulando y compactando, guardan una gran cantidad de carbono misma que se puede aumentar por la continuidad del proceso de formación del suelo y de sus respectivos organismos (Masera, 2001, p. 8).

### **2.3.3 *Carbono en productos forestales***

Los productos forestales almacenan por todo su tiempo de vida útil el carbono, principales artículos que son realizados con la madera de diferentes especies y cuando este tiempo termina, el carbono se regresara a formar parte del ciclo dependiendo del proceso de degradación del producto. Para poder identificar mejor esto se realiza una relación en donde mientras mayor sea la vida media de un producto forestal, el carbono estará almacenado por más tiempo y mientras la vida del producto es muy corta, el contenido de carbono no estar presente en grandes cantidades (Masera, 2001, p. 8).

## **2.4 *Plantaciones forestales***

Son cultivos de árboles forestales plantados para la obtención de productos y beneficios de mejor calidad en un costo mínimo y en un tiempo corto. Las plantaciones forestales son establecidas porque son una modalidad técnica probada para abastecerse de productos forestales como es la leña, madera, pulpa, postes, entre otros. Favorece en la recuperación, estabilidad, protección del suelo, mejoramiento de la calidad de aguas y fijación de carbono (Rojas, 1997, pp. 33-42).

Las plantaciones forestales a nivel mundial han ido incrementando en las últimas décadas, con un promedio de 3.6 millones ha/año desde 1990, este valor llega a ser aproximadamente del 10% de la superficie total forestal mundial, cuando se habla comercialmente estas plantaciones proveen de un tercio de la madera rolliza que es destinada al uso industrial, las plantaciones forestales son de gran importancia para la industria nacional como internacional, lo que se busca es el aprovechamiento de los mismos sin llegar afectar los bosques primarios y acabar más con la fauna silvestre (Guariguata *et al*, 2017: pp. 1-3).

### **2.4.1 *Plantaciones con fines de producción o fines de comercialización***

Ecuador es reconocido a nivel mundial por sus paisajes y lugares de relevancia geológica que alberga riqueza natural en la diversidad de ecosistemas, por la cual posee grandes áreas de plantaciones forestales con un alto valor para la artesanía de pequeñas y grandes empresas. Para las plantaciones con fines comerciales se basa en un análisis de las especies en función del

volumen de madera aprovechada en el mercado nacional e internacional, estos son los indicadores para el establecimiento de las plantaciones forestales (Armas y Paredes, 2019: p. 100).

El Ministerio del Ambiente en la actualidad tiene la competencia para ejercer el control y verificación de plantaciones forestales, donde realiza verificaciones desde el acopio, transporte, movilización y destino de las plantaciones forestales, asegurando el control de la trazabilidad de los productos. Tanto el MAG (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y pesca) y la subsecretaría de Producción Forestal son las entidades que aprueban los programas de corta, emiten las licencias de aprovechamiento forestal y las guías de circulación de productos maderables y no maderables con fines comerciales y de especies exóticas provenientes de los árboles plantados para predios individuales y para varios predios con la elaboración y la responsabilidad del propietario del área (Armas y Paredes, 2019: pp. 101-105).

## **2.5 Identificación de especies forestales**

Existen varias formas de identificar una especie en campo, la cual consiste en la descripción dendrológica y anatómica, ambas son de gran importancia y van de la mano para la identificación, para esto se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos como es el lugar, clima, altitud y tiempo de floración, posteriormente se toma muestras vegetales (flor, hoja y fruto) para ser prensados, y luego ser identificados en el herbario (León y Williams, 2009).

## **2.6 Herbario**

Se trata de una colección de plantas desecadas, prensadas, preservadas y montadas en cartulina, de modo que trate de conservar sus características, para una identificación de la flora a nivel nacional e internacional, donde abarca características morfológicas, distribución geográfica e historia filogenética de la especie en estudio (Freire, 2004, pp. 2-103).

### **2.6.1 Importancia**

Según Moreno (2007, pp. 415-418) menciona la importancia de los herbarios:

- Confirmar la identidad de una especie, que es nueva para estudios.
- Documenta especímenes de tiempos pasados que ayudan a la identificación de especies actuales.
- Provee de información de las localidades y estudios florísticos.



- Sirve para verificar nombres científicos.
- Provee material para ilustraciones de plantas.
- Son centros de apoyo para la enseñanza de la botánica.
- Proporciona muestras para la identificación de plantas consumidas por los animales.
- Proporciona material para estudios de ADN y análisis químico.
- Provee de información geográfica de las especies y sus hábitats.

### **2.6.2 Dendrología**

La Dendrología es parte de las ciencias forestales que realiza un estudio botánico de las especies arbóreas, tratando la morfología de la madera y de los anillos de crecimiento, de esta manera se logra un registro de los eventos climáticos, mecánicos o antrópico que ha sufrido la especie durante su tiempo de crecimiento (Marco, 2005, pp. 273-275).

### **2.6.3 Caracterización dendrológica**

La caracterización se basa en las descripciones peculiares de la especie de modo que se identifique de los demás, con esto se busca mantener la pureza genética en los herbarios para la identificación futura de las especies, a través de los años (Ramírez, 1998; citado en Ríos, 2008).

### **2.6.4 Caracterización dendrológica de especies forestales**

Para la identificación se debe estudiar las características vegetativas de la especie, como la posición de la hoja, tipo de hoja, entre otras, para la identificación taxonómica se toma en cuenta la flor y el fruto, también se debe considerar los usos que le da la gente de la región a dicha especie, cabe recalcar que para una mejor identificación se debe tener en cuenta en fuste, porte, ramificación, corteza, presencia de textura, látex, color y olor que llega a presentar, ya que con estas características se puede llegar a su identificación taxonómica con más facilidad (Reynel, 2003; citado en Ríos, 2008).

Ríos (2008: pp. 5-19) menciona las características vegetales que se debe tomar en cuenta para la identificación:

- **Hojas:** Las hojas son órganos muy útiles para la identificación de los árboles, debidos que muestra patrones característicos como la forma, tipo de margen, ápice, textura, color, superficie y base de la hoja.

- **Flores:** Son órganos reproductores por donde la especie llega a multiplicarse, este es el medio más preciso para identificar la especie vegetal.
- **Frutos:** El fruto es el desarrollo del ovario de una flor luego de haber sido fecundado y es muy útil para la identificación.
- **Ramas:** Llega aportar gran información para la identificación ya que se puede observar la forma o disposición de las ramas, pero se debe poner más atención a las ramas jóvenes, color de lenticelas, pubescencia, etc.

### **2.6.5 Características Taxonómicas**

Consiste en la clasificación de la especie mediante ciertas características biológicas, que comprende varias categorías como, por ejemplo: la división, clase, orden, familia, género y especie, todos son de gran importancia ya que nos ayuda a la identificación (Ríos, 2008, pp. 10-12).

### **2.6.6 Procesos para identificación de especies forestales**

Según Caranqui (2011, pp. 1-11), los procesos para la identificación de especies forestales son:

- **Colecta de plantas.** Para tener buenos resultados al momento de identificar una especie es indispensable tener muestras de calidad para lo cual, los especímenes se deben coleccionar fértiles, con la respectiva información de la localidad, características de la planta e información general.
- **Secado de plantas.** Se utilizará la secadora de plantas a gas del Herbario a una temperatura de 70 °C, con una duración de 8 horas; antes de esto se agrupa las plantas en prensas de hasta 40 cm de alto previa presión. Las muestras en la prensa están intercaladas con secantes y corrugados de aluminio.
- **Identificación.** Se procede a la identificación previa de las muestras por comparación de las muestras existentes en la colección del Herbario. De las muestras que no han sido identificadas, un duplicado se distribuirá a los Herbarios de amplia trayectoria como son: Nacional y católica en la ciudad de Quito y al especialista para su posterior identificación.
- **Elaboración de etiquetas.** Con base en la información levantada en la libreta de campo se procede a elaborar las etiquetas de acuerdo con formatos internacionales.
- **Montaje.** Aquí se debe pegar una muestra botánica con goma blanca en una cartulina (29x41 cm), además deberán acompañar la etiqueta en el lado inferior derecho, el sello del Herbario en el lado superior derecho y un sobre pequeño en el lado superior izquierdo. Después se cocerá las partes más gruesas o leñosas para sujetar la muestra.

- **Catalogación (Archivo en la Colección).** Una vez montadas las muestras, se realizará el pre-archivo alfabético de las muestras por Familias, para luego ser depositados en sus respectivos casilleros de Familia, Género y especie según el caso.
- **Intercambio.** Aquellos duplicados sobrantes, se reparten a los distintos Herbarios del Ecuador, principalmente el Herbario Nacional del Ecuador (QCNE), Herbario Universidad Católica (QCA), Herbario Universidad Central, Escuela de Biología (QAP), y también para los especialistas de las distintas Familias de plantas que se encuentran en el exterior, por intermedio del Herbario Nacional.
- **Determinaciones.** Luego de un tiempo prudencial los Herbarios antes mencionados envían la identificación de las muestras de intercambio. Esta información es ubicada en etiquetas de determinación para posteriormente transcribir la identificación. En dicho formato además del nombre de la especie debe estar el nombre del Botánico que actualizó la información, institución a la que pertenece (acrónimo) y fecha. Esta información además debe constar en la libreta de campo del colector.
- **Base de Datos** A partir de la libreta de campo de los distintos colectores se procede a ingresar la información correspondiente. Toda la información de la base de datos nos sirve para sistematizar las muestras del Herbario y la información correspondiente a las especies que se desarrollan en un área dada, su distribución utilidades, estado de conservación, entre otras.

## 2.7 Madera

Es una de las materias primas de origen natural, que se encuentran en los árboles de tallo leñoso, es un recurso renovable, abundante, orgánico y económico, que es fácil de trabajar, se utiliza para la elaboración de mesas, sillas y muebles en general (Bárcenas et al., 2005: pp. 45-46).

### 2.7.1 Composición de la madera

La madera se encuentra formada de fibras de celulosa, sustancia que forman el esqueleto de los vegetales y lignina que proporciona rigidez y dureza, también en su composición se encuentra hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno y en pequeñas cantidades de potasio, sodio, calcio y otros elementos (Aguilar y Guzowski, 2011: pp. 11-13).

### 2.7.2 Tipos de maderas

De acuerdo con Aguilar y Guzowski (2011: pp. 11-13) existen varios tipos de maderas, por ejemplo:

- **Maderas blandas:** proviene de árboles de rápido crecimiento, como son las coníferas, son fáciles de trabajar y de colores claros.
- **Maderas duras:** son de árboles de crecimiento lento, principalmente de hoja caduca, estas suelen ser aceitosas y en su mayoría son utilizadas en muebles, construcciones, etc.
- **Maderas resinosas:** estas maderas son resistentes a la humedad, son utilizados en muebles y en la elaboración de varios tipos de papeles.
- **Maderas finas:** son maderas que se utiliza en esculturas y arquitectura, instrumentos musicales y adornos.
- **Maderas prefabricadas:** están son elaboradas por restos de maderas, como virutas de los cortes realizados, por ejemplo, los aglomerados, contrachapado y tablas de fibras.

### ***2.7.3 Propiedades de la madera***

De acuerdo con Holguín y Delgado (2018: pp. 4-6) nos menciona ciertas propiedades de la madera que son de gran importancia, por ejemplo:

- Son aislantes térmicos y eléctricos.
- Posee una buena conductividad del sonido.
- Es un material renovable, biodegradable y reciclable.
- Es muy flexible para realizar curvas sin sufrir deformaciones.
- Posee una dureza y resistencia a los cortes.
- Bajo peso en relación con el volumen.
- Posee un brillo y diseño que le confiere un alto valor económico.

### ***2.7.4 Propiedades físicas de la madera***

Estudia el comportamiento de las maderas frente a factores ambientales, sin que este actúe química ni mecánicamente en su estructura interna (Martínez et al, 2017: pp. 17-18).

### ***2.7.5 Factores que influyen en las propiedades físicas***

Según Suirezs, T. & Berger, G. (2009; p. 13). Estos son los factores principales:

- Disposición y orientación de los componentes de la pared celular.
- Cantidad de sustancia básica que forma las paredes celulares.
- Porcentaje de material celulósico.

- Composición química de las sustancias básicas.
- Contenido de humedad.

#### 2.7.5.1 *Densidad de la madera*

La densidad de la madera es propia de cada especie, dependiendo de la cantidad y tipo de elementos celulares que lo constituyen, por ejemplo, las coníferas tienen una densidad entre 400 y 500 kg/m<sup>3</sup> y las frondosas entre 600 y 700 kg/m<sup>3</sup>, cabe recalcar que la densidad varía también por la edad del árbol y los factores genéticos individuales. La densidad tiene relación entre la cantidad de material leñoso, la masa, por unidad de volumen (Jimeno, I., 2022).

#### 2.7.5.2 *Agua en la Madera*

Según Jiménez, J. (2011; pp. 7-12) el agua de la madera se presenta de 3 formas diferentes:

- **Agua de constitución:** forma parte de la constitución química de la madera y la disminución supone la destrucción del material.
- **Agua de impregnación:** es el agua que se encuentra contenida en las paredes celulares y posee una gran influencia en las propiedades físicas y químicas de la madera.
- **Agua libre:** se encuentra en las cavidades del lumen celular y no posee ninguna influencia en las propiedades mecánicas.

#### 2.7.5.3 *Higroscopicidad de la madera*

Es la capacidad para absorber la humedad atmosférica circundante y mantenerla en forma de agua líquida o vapor, esto depende de la especie, de esta forma cada estado ambiental le corresponde un grado de humedad de la madera llamado humedad de equilibrio higroscópico (Castellanos, J., Campos, L. & González, D., 2020: pp. 76-77).

#### 2.7.5.4 *Contenido de humedad*

La madera es un material higroscópico que tiene la capacidad de absorber agua de la atmósfera, esto sucede por varias razones una de ellas es la atracción que ejercen los grupos polares existentes en la pared celular de la madera sobre aquellas moléculas de naturaleza polar o polarizables, que entran en su órbita de acción y también debido al efecto de los fenómenos físicos de capilaridad (Campos, C., 2015).

De acuerdo con Foglia, R. (2005; pp. 88-90) la humedad de la madera presenta las siguientes denominaciones:

- **Madera verde:** presenta un contenido de humedad entre el 30% en su punto de saturación de la pared celular hasta la humedad del árbol vivo que va desde 70-150% dependiendo de la especie.
- **Madera húmeda:** contiene una humedad de 20-30%.
- **Madera seca al aire:** el contenido de humedad se encuentra entre 13-18%.
- **Madera seca en cámara:** el contenido de humedad se encuentra debajo del 12%, este valor se puede alcanzar mediante el secado artificial en cámara.

### ***2.7.6 Propiedades químicas de la madera***

Es una característica que puede verse como el material cambia y forma uno nuevo, es decir tiene la capacidad de quemarse, oxidarse y agriarse, cuando la madera es sometida a altas temperaturas este llega a convertirse en ceniza (Torres, C., & Zamudio, F., 2002).

La madera está compuesta por un 99% de sustancias orgánicas y la composición química es la misma. La madera totalmente seca contiene un promedio de 49% de carbono, 44% de oxígeno, 6% de hidrógeno y 0,1-0,3% de nitrógeno, la madera luego de ser sometida a altas temperaturas permanece su parte inorgánica como es el calcio, potasio, sodio, magnesio y otros elementos (Torres, C., & Zamudio, F., 2002).

#### ***2.7.6.1 Material volátil***

Es la pérdida de masa cuando el carbón se calienta sin necesidad del contacto con el aire en condiciones estandarizadas, a mayor cantidad de material volátil, mayor será los volátiles que producirán un tipo de carbón, este método nos ayuda en la determinación del porcentaje de productos gaseosos, estos análisis son obtenidos por condiciones específicas (Barrera, J. 2017; pp. 13-20).

#### ***2.7.6.2 Contenido de cenizas***

Son los residuos de materia mineral que queda después de la incineración del carbón orgánico, el contenido de cenizas determina los residuos inorgánicos presentes en los carbones, esto se logra con el peso del residuo restante (Barrera, J. 2017; pp. 13-20).

### 2.7.7 *Elementos químicos de la madera*

De acuerdo con Bernabé, R., Ávila, L., & Rutiaga, J. (2013; pp. 21-35) los elementos básicos que forman las sustancias orgánicas son las siguientes:

- **Celulosa:** Es un polímero natural que posee una molécula de cadena larga (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>), es una sustancia persistente, insoluble en agua y en ciertos disolventes orgánicos ordinarios.
- **Lignina:** Es un polímero natural aromático que posee una estructura compleja, contiene más carbono y menos oxígeno, este elemento es químicamente inestable, fácilmente oxidable, reacciona con el cloro y se disuelve con sustancias acuosas como el ácido sulfúrico y sus sales ácidas.
- **Hemicelulosa:** Es un grupo de polisacáridos que incluye pentosanos y hexosanos, contiene la cadena de moléculas más pequeña y posee una menor resistencia en las sustancias.

## 2.8 **Carbono**

Se sabe que el carbono es uno de los elementos más esenciales para todos los seres vivos y el que está en abundancia dentro de todos los ecosistemas, así pues, se deriva a que cada ser humano está comprendido por diferentes compuestos de carbono para que puedan realizar su metabolismo en cuanto al crecimiento y al desarrollo de cada uno de los seres vivos. Aproximadamente el peso seco de cualquier elemento vivo está conformado en un 50 % de carbono, por lo tanto, es un elemento extremadamente importante para todos, cabe mencionar que el carbono constituye al gas de gran impacto que es el dióxido de carbono.

De acuerdo con Tacarpo (2018 pp. 1-125), indica que el Carbono es la unidad más primordial y número 1 de la vida en este planeta en donde su ciclo es fundamental para el desarrollo de todos los organismos, también como se conoce es el elemento básico en la formación de las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleídos, en fin todas las moléculas orgánicas están formadas por cadenas de Carbono que están enlazadas entre sí para que se pueda de alguna manera dar vida a todos los seres vivos.

### 2.8.1 *Reductor de carbono*

Los principales depósitos naturales que actúan como sumideros de carbono son todos los bosques del planeta, ya que estos capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre

y este participa con una cantidad del 90% en el flujo anual de carbono en relación de la atmósfera y el suelo (Ruano, 2019, pp. 3-60).

El sumidero es un proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Como un claro ejemplo las formaciones vegetales actúan como sumideros por su función vital principal, la fotosíntesis, a través de esta función, los vegetales también captan CO<sub>2</sub> que compensa las pérdidas de este gas que sufren por la respiración y lo que se emite en otros procesos naturales como la descomposición de materia orgánica en el suelo (Ruano, 2019, pp. 3-60).

### **2.8.2 *Ciclo del carbono***

El carbono del planeta se almacena en 5 grandes compartimentos como son las reservas geológicas, océanos, atmósfera, suelos y biomasa vegetal, el contenido de carbono no permanece en un sitio, esta se llega a mover de una esfera a otra con un proceso continuo conocido como el ciclo del carbono, este es muy importante debido a que influye en procesos cruciales de la vida como la fotosíntesis y la respiración, contribuye a la formación de los combustibles fósiles e impacta el clima de la tierra. El depósito de este carbono es en la atmósfera, biosfera, hidrosfera y litosfera y gracias a ciertos flujos es que el carbono se llega a mover de un lugar a otro y lo hace dentro de los compuestos tales como el dióxido de carbono o el metano (Martínez, J. & Fernández, A. 2004; pp. 15-109).

## **2.9 Carbón**

El carbón es considerado como una roca sedimentaria que sirve como combustible fósil, el carbón por lo general se lo puede identificar por sus características físicas superficiales por ejemplo tiene un color negro, espeso y está conformado por una gran cantidad de carbono. Suele localizarse bajo una capa de tierra de poca profundidad, o por lo general es creada por la cantidad de poder calorífico hacia la madera de una especie forestal, en donde más se le conoce como el carbón comercial.

### **2.10 Fijación de carbón en especies forestales**

En el momento cuando las plantas realizan fotosíntesis en especial los árboles jóvenes absorben mucho dióxido de carbono, mientras que para los árboles maduros el total de cantidad de carbono es mayor y eso se puede explicar ya que mientras el árbol va envejeciendo sus tejidos y células van muriendo y ahí en donde más se retiene una gran cantidad de carbono almacenado por el motivo que viene a ser próximamente necromasa. En general los ecosistemas de bosques se



destacan por su gran capacidad de fijar carbono en todas sus estructuras leñosas. Indistintamente que los árboles tengan mayor o menor edad, estos siempre almacenaran grandes cantidades de carbono durante toda su vida.

De acuerdo con Avendaño et al (2009, p. 238), menciona que en todo el fuste de un árbol estudiado es donde se almacena aproximadamente el 84% de biomasa que viene a ser alrededor del 46% de carbono.

## **2.11 Normas técnicas para laboratorio**

Las normas técnicas vienen a estar representada por es un documento en donde implantan disposiciones, por consenso, y con la aprobación de un organismo reconocido, las condiciones mínimas que debe reunir un producto, proceso o servicio, para que sirva al uso al que está destinado. Las normas son reglas y criterios no obligatorios, excepto algunas relacionadas con temas de seguridad, ya que son adoptadas voluntariamente por las partes interesadas (López, 2020, p. 321).

Las normas están en todas partes, protegiéndonos a todos y denotando el nivel de desarrollo de un país, ya que son resultados probados de investigación y desarrollo tecnológico. Los productos elaborados conforme a normas son más aptos, más seguros, de buena calidad y poseen información para guiar al consumidor (López, 2020, p. 321).

### **2.11.1 Normas INEN**

Las Normas INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización) son normativas técnicas que evalúan la conformidad de un producto o servicio, con base en normativa técnica ecuatoriana, cuyo concepto básico es satisfacer las necesidades locales y facilitar el comercio nacional e internacional, contribuyendo al mejoramiento continuo de las empresas, incrementando su competitividad y velando por la seguridad y salud del consumidor.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN, es en términos de la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, el organismo nacional competente en materia de reglamentación, normalización y metrología, establecidos en las leyes de la República y en tratados, acuerdos y convenios internacionales (INEN, 2014, p. 1).

### **2.11.2 Normas ISO**

La Organización Internacional de Estandarización, ISO, es una organización sin ánimo de lucro de carácter no gubernamental creada el 23 de febrero de 1947 que promueve el desarrollo y la implementación de normas a nivel internacional, tanto de fabricación como de servicios. El objetivo principal que tiene esta organización es brindar herramientas para facilitar las transacciones a nivel internacional tanto de objetos, bienes y servicios como de desarrollos científicos, actividades intelectuales, tecnológicas y económicas. Por otro lado, Yáñez (2012, p. 86) menciona que las normas ISO nacen ante la necesidad de unificar los estándares internacionales de calidad, debido a la ausencia de guías para las prácticas de la calidad de los productos, servicios y/o para la mejora de los procesos de fabricación de las organizaciones a nivel mundial.

La ISO ha elaborado más de 19.000 normas internacionales de una variedad de temas y más de 1.000 nuevas normas se publican cada año. Adicionalmente, se debe considerar las actualizaciones y las trasposiciones de estas (europeas (EN), americanas (ANSI), alemanas (DIN), británicas (BS), españolas (UNE), entre otros), por lo que finalmente se cuenta con miles de normas, alcanzando mayor relevancia internacional en la última década (Yáñez 2012, p. 86).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Enfoque de investigación

Es una investigación que tiene un enfoque cuantitativo para determinar las variables físicas de la madera a través de métodos estadísticos y también posee un enfoque cualitativo para poder describir los procesos de identificación de la especie comercial en el cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos.

#### 3.2 Tipo de estudio

La investigación es de tipo campo para la recolección de la madera y muestras botánicas, también el estudio es de tipo de laboratorio, para obtener las probetas de madera a través de rodelas de cada sección del fuste (ápice y base), posteriormente también se trabajó en el laboratorio de química de la facultad de Recursos Naturales para estimar las variables en estudio a través de técnicas, métodos de las normas INEN e ISO.

#### 3.3 Diseño

Las muestras de estudio se realizaron por conveniencia, se obtuvieron a partir de tres árboles de la especie forestal seleccionada para esta investigación, con las cuales se prepararon 5 probetas por árbol tanto de la base y a la altura del fuste (ápice) con un total de 15 probetas de la parte inferior y 15 de la parte superior de los fustes de los tres árboles.

Para esta investigación se implementó una prueba de hipótesis estadística acerca de dos medias poblacionales independientes. Cada uno de los tratamientos se repitió 15 veces para tener valores que permitieron el análisis de resultados.

##### 3.3.1 *Tratamientos*

Se plantío la captura de carbono fijo para esta investigación, para ello se determinó considerando la base y un diámetro a la altura del fuste (ápice del fuste de la especie maderable, considerando cada parte como un tratamiento.

T1: Carbono fijo utilizando probetas de la base del fuste de la especie forestal (35 a 45 cm de diámetro).

T2: Carbono fijo utilizando probetas del ápice del fuste de la especie forestal (23,2 a 29 cm diámetro) en dirección al ápice del árbol.

### **3.3.2 Variables de estudio**

Se determinó las siguientes variables:

Contenido de humedad (CH), contenido de cenizas (CC), contenido de material volátil (CV) y contenido de carbono fijo (CF).

### **3.3.3 Análisis Estadístico**

Posterior a la recopilación de información, se realizó la tabulación de datos y el análisis estadístico para conocer los promedios de las variables de contenido de humedad (CH), contenido carbón fijo (CF), contenido de cenizas (CC), y contenido de material volátil (CV). Para los cuales se aplicó una estadística descriptiva. Posteriormente se comprobó los supuestos de normalidad, para determinar si las observaciones siguen o no una distribución normal, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, la igualdad de varianzas entre los valores de las variables indicadas y se utilizó la prueba de Levene.

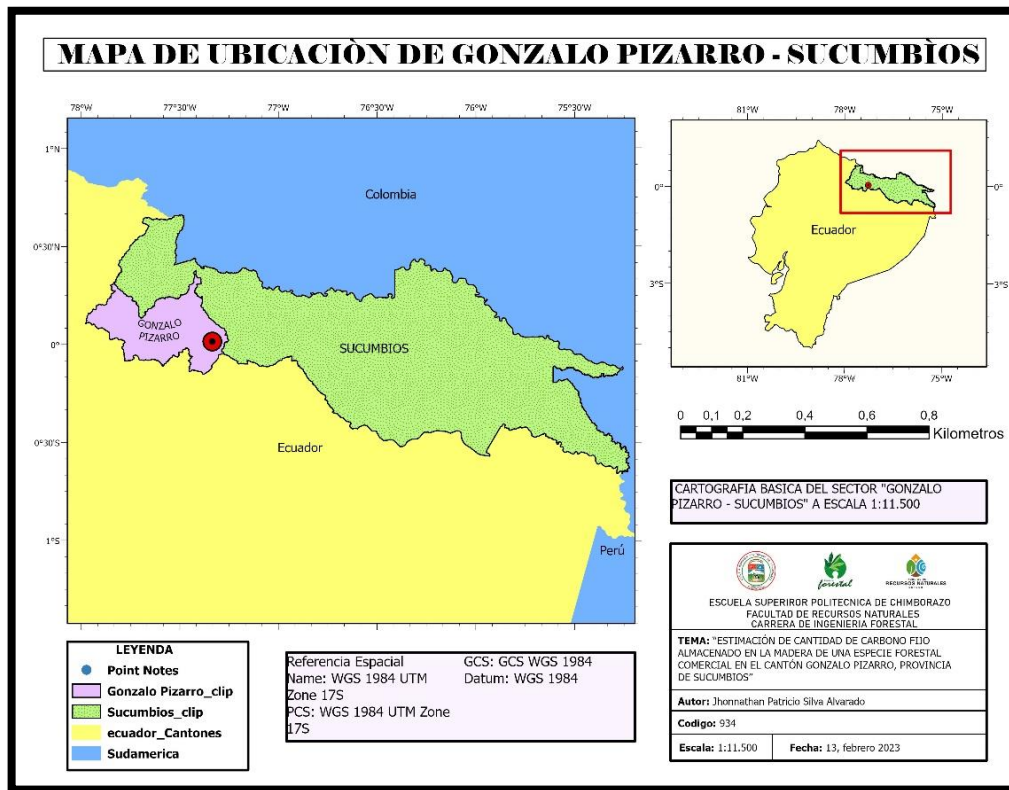
En caso de presentar normalidad los datos de las variables en estudio. Se realizó el análisis estadístico a través de la prueba t para muestras independientes de las medias que se obtuvieron para determinar si se acepta o rechaza la hipótesis planteada, caso contrario se aplicó la prueba U de Mann-Whitney, por último, todos los datos se analizaron en el programa estadístico IBM SPSS Statistics.

## **3.4 Técnicas e instrumentos de investigación**

### **3.4.1 Características del lugar**

#### **3.4.1.1 Área de estudio**

La presente investigación se llevó a cabo en una finca que se encuentra ubicado en el cantón Gonzalo Pizarro de la provincia de Sucumbíos.



**Ilustración 1-3:** Ubicación del área para la toma de muestras de la especie en estudio.

**Realizado por:** Silva, Jhonnathan, 2023.

### 3.4.1.2 Ubicación geográfica

Lugar: Gonzalo Pizarro, Sucumbíos

Altitud: 400 – 750 msnm.

Latitud: 0°01'00" N

Longitud: 77°22'45" O

### 3.4.1.3 Características climáticas

De acuerdo con el INAMHI (2020) la precipitación anual en la zona es de 4500 a 5400 mm y una temperatura que varía desde los 19 a 29 °C.

### 3.4.1.4 Clasificación ecológica

Bosque siempreverde piemontano del norte de la cordillera oriental de los Andes. Este ecosistema se registra aproximadamente entre 400-1200 msnm (MAE, 2012, pp. 116-117).

### **3.4.2 *Materiales y equipos***

#### **3.4.2.1 *Equipos de campo***

- Cámara fotográfica
- GPS
- Motosierra

#### **3.4.2.2 *Materiales de campo***

- Flexómetro
- Fundas
- Lápiz
- Libreta de campo
- Libreta
- Machete
- Marcador
- Mochila
- Tijeras de podar

#### **3.4.2.3 *Equipos de laboratorio***

- Balanza analítica
- Cronómetro
- Desecador
- Estufa
- Mufla

#### **3.4.2.4 *Materiales de laboratorio***

- Bandejas de lata
- Crisoles con tapas
- Guantes
- Jabón
- Libreta

- Lápiz
- Mandil
- Pinzas
- Toallas

#### 3.4.2.5 *Material biológico y vegetativo*

- Muestras botánicas de la especie
- Probetas de madera

#### 3.4.2.6 *Materiales de oficina*

- Calculadora
- Computadora
- Hojas de papel bond
- Impresora
- Lápiz

### **3.5 Metodología**

Para el presente proyecto de investigación se realizó la identificación de la especie en estudio en el herbario de la ESPOCH y la estimación de cantidad del carbono fijo almacenado en la madera de la especie que fue recolectada en el cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos, posteriormente, se dio el cumplimiento a todos los objetivos planteados en esta investigación.

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Química de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

#### **3.5.1 *Para la ejecución del primer objetivo; Identificar dendrológicamente la especie forestal comercial.***

Según la metodología propuesta por Caranqui (2011, pp. 1-11), para la obtención de muestras botánicas en el cantón de Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos se aplicó los siguientes pasos:

- Selección de la especie.
- Se recolectó las muestras botánicas, las cuales consistían en sus hojas, flores y frutos, es decir, se recolectaron muestras fértiles, con la respectiva información de la localidad y características de la especie.
- Cada muestra fue ubicada en bolsas plásticas en donde se colocó un papel con su respectiva información.
- Se procedió a prensar las muestras en el herbario de la ESPOCH con prensas de madera cubriendo todas las muestras con papel periódico, con la finalidad de secarlos para su posterior identificación.
- Una vez secado las muestras se procedió al montaje en una hoja especial incluyendo la información registrada en la libreta de campo.
- Finalmente, se realizó la identificación de la especie en el herbario de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “CHEP”.

**3.5.2 Para la ejecución del segundo objetivo; Determinar el porcentaje de contenido de humedad de la especie forestal comercial en estudio.**

En la determinación del porcentaje de la humedad de las especies se realizó con los respectivos procedimientos según la normativa internacional INEN 1160:1983.

**Tabla 1-3:** Formato empleado en la toma de datos para el contenido de humedad

<b>BASE DE DATOS PARA LA VARIABLE % HUMEDAD</b>					
		<b>Peso fresco de la muestra + crisol)</b>	<b>Peso muestra + crisol 24h</b>	<b>Peso muestra + crisol 48h</b>	<b>% Humedad</b>
Árbol	Sección	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Fórmula

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

Después de obtener las probetas de madera de 2,5 cm x 2,5 cm x 2,5 cm, en donde 5 probetas fueron de la base y 5 del ápice del fuste, de cada árbol, se procedió así con la determinación del contenido de humedad de la siguiente manera:

- Se tomaron 10 crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiquetaron respectivamente por cada sección del fuste de la especie en estudio y se procedió a pesar en la balanza analítica, su peso



fue registrado, posteriormente se inició con el tarado de los crisoles en la estufa a 105°C durante 24 horas hasta que quede un peso constante.

- Se tomaron las muestras de madera y se pesaron en la balanza analítica para obtener el peso inicial de cada una de ellas, luego se introdujo las muestras de probetas en cada crisol con su etiquetado para ingresar a la estufa a 105 °C por un periodo de 24 horas, pasado ese tiempo se apagó la estufa y se retiraron los crisoles, consecuentemente se dejó por un periodo de 30 min en el desecador y se pesó cada crisol con la muestra.
- Una vez que se obtuvieron los datos de los pesos, se procedió a determinar el porcentaje de humedad, aplicando la fórmula correspondiente y anotando los datos en una base de datos.

### **Cálculo para la determinación del porcentaje de humedad**

Según la norma INEN 1160:1983, para calcular el porcentaje de humedad se aplicó la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{P - Psh}{Psh} \times 100$$

**Donde:**

**CH** = contenido de humedad, en porcentaje.

**P** = masa original de la muestra, en gramos.

**Psh** = masa de la muestra anhidra, en gramos.

### **3.5.3 *Para la ejecución del tercer y último objetivo: Determinar el contenido de carbono fijo almacenado en el fuste de la especie forestal***

Con la finalidad de calcular el carbono fijo de la especie en estudio a partir de su madera, se obtuvo el material volátil y el contenido de cenizas de las muestras de madera.

### **Material Volátil**

Para determinar el material volátil de las muestras se realizó el procedimiento según la normativa ASTM (Norma D3175-89(02)) y los datos requeridos para el cálculo está representada en la tabla 2-3 utilizado así para determinar la variable mencionada.

**Tabla 2-3:** Formato empleado en la toma de datos para el material volátil

<b>BASE DE DATOS PARA LA VARIABLE MATERIAL VOLÁTIL</b>			
<b>Árbol</b>	<b>Sección</b>	<b>Peso MV + Crisol</b>	<b>% Material Volátil</b>

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

- Se tomaron los 10 crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiquetó respectivamente 5 por cada sección del fuste y se procedió a pesar en la balanza analítica, se registró el peso de los crisoles antes y después de tarar a 105°C en la estufa, se procedió a pesar las muestras y se tomó los datos de cada peso neto.
- Se procedió a calibrar la mufla a una temperatura de 900°C gradualmente según la normativa ASTM para material volátil, una vez alcanzada la temperatura se procedió a ingresar las muestras a la mufla por un tiempo establecido de 9 minutos, consecuentemente se retiraron las muestras de la mufla con pinzas y guantes especializados para aguantar el calor, luego se dejó enfriar las muestras en el desecador por un lapso de 30 minutos con la finalidad de evitar dañar las muestras, ya que el calor en que se mantuvieron las muestras fue demasiado alto.
- Una vez llenado los datos en la Tabla 2-3 se pudo determinar el contenido de material volátil.

Según la norma ASTM D3175-89(02), para calcular el porcentaje material volátil se tomó en cuenta la siguiente fórmula:

$$MV = \left( \frac{C - D}{C} \times 100 \right) - \%Humedad$$

**Dónde:**

**MV**= Material Volátil

**C**= Peso inicial, g muestras utilizado

**D**= Peso final, g de muestra después del calentamiento

### **Contenido de cenizas**

Para determinar el Contenido de Cenizas de las muestras se utilizó los procedimientos de la normativa ASTM (Norma D3174-89(02)) en donde todos los datos y variables que se utilizó están representados en la tabla 3-3 para determinar el contenido de cenizas.

**Tabla 3-3.** Formato empleado en la toma de datos para el contenido de ceniza

<b>BASE DE DATOS PARA LA VARIABLE CONTENIDO DE CENIZA</b>				
<b>Árbol</b>	<b>Sección</b>	<b>Muestra</b>	<b>Peso Ceniza + Crisol</b>	<b>% Contenido de Ceniza</b>

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

- De igual manera se tomaron 10 crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiquetó respectivamente 5 por cada sección del fuste, se los pesó y se registró el peso de los crisoles antes y después de haber tarado a 105°C en la estufa, luego se procedió a pesar las muestras con su respectivo crisol y en el cual se tomó datos de cada peso neto. Finalmente se introdujeron los crisoles a la mufla con una temperatura de 450°C a 500°C durante una hora.
- Consecuentemente se programó la mufla a una temperatura de 700°C a 750°C por un lapso de 2 horas, una vez alcanzado ese tiempo se volvió a programar la mufla a una temperatura final de 950°C por un lapso de 2 horas hasta obtener una incineración completa como indica la Norma ASTM D3174-89(02). Por último, se retiraron los crisoles de la mufla con una pinza y los guantes contra el calor y nuevamente se dejó enfriar los crisoles en el desecador por 30 minutos para que posteriormente se pueda recolectar los datos.
- Una vez llenado los datos de la Tabla 3-3 se procedió a realizar los cálculos respectivos para determinar el contenido de cenizas.

### **Cálculo del Contenido de Cenizas**

Según la norma ASTM Norma D3174- 89(02) internacional, la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$CC = \frac{A - B}{C} \times 100$$

#### **Dónde:**

**CC** = Contenido de cenizas

**A** = Peso del crisol, tapa, y residuo de ceniza, en gramos

**B** = Peso del crisol vacía y tapa en gramos

**C** = Peso de la muestra utilizada en el análisis, en gramos

## Carbono fijo

Una vez teniendo las variables del contenido de humedad, material volátil y cenizas, se lo colocó en la base de datos tal cual como se puede evidenciar en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Formato empleado en la toma de datos para la estimación del carbono fijo

<b>Base de datos para estimar el carbono fijo de la especie</b>					
Árbol	Sección	% Humedad	Material volátil	Ceniza	Carbono fijo

**Realizado por:** Silva, Jhonnathan, 2023.

El cálculo del porcentaje del carbono fijo se determinó de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM D-3172-89(02), utilizando la formula siguiente:

$$CF = 100 - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Cenizas} + \% \text{ Material volátil})$$

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

##### 4.1.1 Identificación dendrológica de la especie forestal

A partir de las muestras obtenidas en campo, se pudo identificar satisfactoriamente la especie en el herbario de la ESPOCH, esta especie se identificó como *Croton tessmannii*, que se encuentra dentro del género *Croton* y de la familia Euphorbiaceae.

##### 4.1.1.1 Clasificación taxonómica de *Croton tessmannii*

Su clasificación taxonómica se define de la siguiente manera:

**Reino:** Plantae; **Filo:** Tracheophyta; **Clase:** Magnoliopsida; **Orden:** Malpighiales; **Familia:** Euphorbiaceae; **Género:** *Croton*; **Nombre científico:** *Croton tessmannii* Mansf.; **Nombre común:** Tabaquillo o Tamburo blanco.

##### 4.1.1.2 Descripción Botánica de *Croton tessmannii* Mansf.

Según Ore (2019, p. 56), la especie *Croton tessmannii* Mansf presenta las siguientes características:

**Árbol:** Que alcanza una altura de hasta 30 metros, con un DAP de 35 a 45 cm, árbol de copa amplia, globosa y redondeada, corteza de color grisáceo blanquecino, que exuda un poco de látex de color vinoso.

**Hojas:** Alternas elípticas de margen generalmente entera con estípulas subuladas, aciculares, ápice acuminado y venación pinnada.

**Inflorescencia:** Racemosa, con ramificaciones laterales en forma de racimo terminal de flores verde claro.

**Flores:** Sépalos valvados, ovados en flores estaminadas y pistiladas, presenta pétalos reducidos en flores pistiladas; 15 estambres; estilos bífidios libres.

**Frutos:** Son pequeños, redondos hasta 1 cm de diámetro, inicialmente verdes, que se vuelven marrones, secos y con tres compartimentos que encierran una semilla larga.

#### 4.1.2 *Determinación del contenido de humedad de la madera de Croton tessmannii Mansf.*

Según la tabla 1-4 se puede observar los porcentajes del contenido de humedad de cada una de las secciones del árbol, dando como resultado que la sección con mayor cantidad de humedad es el ápice con 37,99 % y mientras que en la base se tuvo un valor menor que corresponde a 33,36 %.

**Tabla 1-4:** Porcentaje de humedad de la madera de *Croton tessmannii* Mansf.

Sección	Humedad de la madera %
Ápice	37,99
Base	33,36

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

#### 4.1.2.1 *Análisis estadístico en la determinación del porcentaje de humedad*

Para poder identificar si existe normalidad se realizó la prueba de Shapiro-Wilk tal como se muestra en la tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Prueba de normalidad

Secciones del árbol		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Humedad	Ápice	0,954	15	<b>0,586</b>
	Base	0,942	15	<b>0,405</b>

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

Se observó que si existe normalidad en cuanto a las muestras ya que los valores de p **0,586** y **0,405** son mayores a 0,05 por ende se procede a realizar la prueba de muestras independientes.

**Tabla 3-4:** Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
<b>Humedad</b>	Se han asumido varianzas iguales	2,172	<b>0,152</b>	4,274	28	<b>0,000</b>
	No se han asumido varianzas iguales			4,274	23,893	<b>0,000</b>

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

En la tabla 3-4 se presentó que la prueba de Levene (Homocedasticidad), el valor de p toma un valor de **0,152**, esto nos dice que se puede asumir el supuesto de igualdad de las varianzas de las dos muestras, mientras que en la prueba T, el p valor fue de **0,000** para la ápice y para la base, por lo tanto, los resultados mostraron que si hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto a las dos secciones de la especie de *Croton tessmannii* Mansf., entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, en donde se concluye que la variable contenido de humedad difiere entre cada sección.

#### 4.1.3 Estimación del material volátil de la madera de *Croton tessmannii* Mansf.

Según la tabla 4-4 se puede observar los porcentajes del material volátil de cada una de las secciones del árbol, dando como resultado que la sección con mayor cantidad de material volátil es la base con 56,66 % y mientras que el ápice se tuvo un valor menor que corresponde a 52,04%.

**Tabla 4-4:** Porcentaje del material volátil en diferente sección

Sección	Material Volátil %
Ápice	52,04
Base	56,66

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

##### 4.1.3.1 Análisis estadístico en la determinación del material volátil

En el (Anexo H) se observó que si existe normalidad en cuanto a las muestras ya que los valores de p **0,212** y **0,443** son mayores a 0,05 por ende se procede a realizar la prueba de muestras independientes.

**Tabla 5-4:** Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
<b>Material Volátil</b>	Se han asumido varianzas iguales	0,846	<b>0,366</b>	-4,683	28	<b>0,000</b>
	No se han asumido varianzas iguales			-4,683	22,573	<b>0,000</b>

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

En la tabla 5-4 se presentó que la prueba de Levene (Homocedasticidad) el p valor toma un valor de **0,366**, esto nos dice que se puede asumir el supuesto de igualdad de las varianzas de las dos muestras, mientras que en la prueba T, el p valor fue de **0,00** para las dos secciones (ápice y base), por lo tanto, los resultados mostraron que si hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto al contenido del material volátil con respecto a las dos secciones de la especie de *Croton tessmannii* Mansf.

#### 4.1.4 Estimación del contenido de cenizas de la madera de *Croton tessmannii* Mansf.

Según la tabla 6-4 se puede observar los porcentajes del contenido de cenizas de cada una de las secciones del árbol, dando como resultado que la sección con mayor contenido de cenizas es la base con 0,52 % y mientras que en el ápice se tuvo un valor menor que corresponde a 0,41 %.

**Tabla 6-4:** Porcentaje del contenido de cenizas en diferente sección

Sección	Contenido de cenizas %
Ápice	0,41
Base	0,52

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

##### 4.1.4.1 Análisis estadístico en la determinación del contenido de cenizas

En el (Anexo I) se observó que, si existe normalidad en cuanto a las muestras, ya que los valores de p **0,904** y **0,960** son mayores a 0,05 por ende se procede a realizar la prueba de muestras independientes.



**Tabla 7-4:** Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
<b>Contenido cenizas</b>	Se han asumido varianzas iguales	0,549	<b>0,465</b>	-2,558	28	<b>0,016</b>
	No se han asumido varianzas iguales			-2,558	26,646	<b>0,017</b>

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

En la tabla 7-4 se presentó que la prueba de Levene (Homocedasticidad) el p valor toma un valor de **0,465**, esto nos dice que se puede asumir el supuesto de igualdad de las varianzas de las dos muestras, mientras que en la prueba T, el p valor fue de **0,016**, por lo tanto, los resultados mostraron que si hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto al contenido de cenizas con respecto a las dos secciones (ápice y base) de la especie de *Croton tessmannii* Mansf.

#### 4.1.5 Estimación del carbono fijo de la madera de *Croton tessmannii* Mansf.

Según la tabla 8-4 se puede observar los porcentajes del carbono fijo de cada una de las secciones del árbol, dando como resultado que la sección con mayor cantidad de carbono fijo es el ápice con 9,58 % y mientras que en la base se tuvo un valor ligeramente menor que corresponde a 9,43 %.

**Tabla 8-4:** Porcentaje del carbono fijo en diferente sección.

Sección	Carbono fijo %
Ápice	9,58
Base	9,43

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

##### 4.1.5.1 Análisis estadístico en la determinación del carbono fijo

Para comprobar si existe normalidad se realizó la prueba de Shapiro-Wilk tal como se muestra en la tabla 9-4.

**Tabla 9-4:** Prueba de normalidad

Secciones del árbol		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<b>Carbono fijo</b>	Ápice	0,119	15	<b>0,278</b>
	Base	0,182	15	<b>0,417</b>

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

Se destaca que si existe normalidad en cuanto a las muestras ya que los valores de p **0,278** y **0,417** son mayores a 0,05 por ende se procede a realizar la prueba de muestras independientes (Tabla 9-4).

**Tabla 10-4:** Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
<b>Carbono Fijo</b>	Se han asumido varianzas iguales	0,854	<b>0,363</b>	0,313	28	<b>0,756</b>
	No se han asumido varianzas iguales			0,313	26,646	

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

En la tabla 10-4 se presentó que la prueba de Levene (Homocedasticidad), el valor de p toma un valor de **0,363**, esto nos dice que se puede asumir el supuesto de igualdad de las varianzas de las dos muestras, mientras que en la prueba T, el p valor fue de **0,756** para las dos secciones (ápice y base), por lo tanto, los resultados mostraron que no hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto a las dos secciones de la especie de *Croton tessmannii* Mansf., entonces se rechaza la hipótesis alternante y se acepta la hipótesis nula, en donde se concluye que la variable carbono fijo no difiere entre cada sección.

## 4.2 Discusiones

El contenido de humedad de la madera en la especie *Croton tessmannii* Mansf alcanzó un promedio de 35,68 %, y para discutir este resultado se tomó en consideración una especie que tenga algo de similitud con la especie estudiada o que se encuentre dentro del mismo género, en este caso considere investigaciones de la especie *Croton matourensis* Aubl., dentro del país de Perú, ya que por el momento no existe investigaciones acerca de la especie en estudio. Entonces

para Ruiz (2019, p. 65) en su investigación con la especie *Croton matourensis* Aubl., obtuvo un resultado del 11,35 % de humedad la cual es un valor menor a comparación de la especie estudiada y esto afirma el autor que son causas de la contracción volumétrica de cada una de las muestras analizadas. Mientras que Vela (2015, pp. 49-51) en otra investigación obtiene un resultado de 12,74 % de humedad a partir de las partículas de aserrín de madera de la misma especie.

Por otro lado, se realizó una comparación entre el contenido de humedad y la cantidad de carbono fijo en especies de la sierra con respecto a especies de la amazonia para poder verificar y discutir los resultados de algunas especies en distintas condiciones climáticas.

Con respecto al contenido de humedad en especies de la amazonia, representa la especie estudiada *Croton tessmannii* Mansf. con valores de 37,99 % en el ápice y 33,36 % en la base, consecuentemente para Godoy (2022, pp. 28-34) la especie *Piptocoma Discolor* obtuvo un promedio de 40,91 % del contenido de humedad en toda su madera.

Con respecto a las especies de la sierra, Cando (2022, pp. 51-57) trabajo con *Pinus radiata*, la cual determinó un valor máximo de 64,21 % de contenido de humedad en la sección del ápice y un valor de 45,69 % en la sección de la base, coincidiendo con mi investigación en cuanto a los rangos porcentuales dentro de cada sección, sin embargo, para Caisa (2022, pp. 34-40) en su investigación con la especie *Eucalyptus globulus*, determinó que la menor cantidad de contenido de humedad estuvo presente en el ápice con un valor de 38,19 %, mientras que el mayor contenido fue entre la parte media y base del fuste con un promedio de 46,05 %.

Para el tema de carbono fijo en las especies de la amazonia, *Croton tessmannii* obtuvo un valor promedio de 9,43 %, mientras que para *Piptocoma Discolor*, Godoy (2022, pp. 28-34) obtiene un valor de 9,38 % de carbono fijo en toda su madera.

De acuerdo con investigaciones de especies de la sierra ecuatoriana, Castro (2018, p. 63) que trabajó con la especie *Pinus patula* obtiene un valor de 9,13 % y este explica que obtiene esos resultados debido a que se realizó una carbonización es decir utilizando la misma metodología, mientras que nuevamente para Cando (2022, pp. 42-50) dentro de su investigación en donde trabajo con *Pinus radiata* su promedio de carbono fijo es del 7,63 % y esto se debe a que la especie *Pinus radiata* fue más joven a comparación de la especie estudiada, , por ende se puede observar que el contenido de carbono fijo en las especies de la amazonia es mayor a comparación de las especies exóticas de la sierra y eso se puede deber a factores de edad en cuanto a su madera o por las condiciones climáticas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

Se logró identificar la especie forestal en estudio a través de las muestras botánicas recolectadas en campo, y que posteriormente fueron llevadas al herbario de la ESPOCH para su respectiva identificación, dándonos como resultado que la especie corresponde a *Croton tessmannii* Mansf.

La sección que tuvo mayor contenido de humedad en la madera de *Croton tessmannii* Mansf. fue el ápice con 37,99 %, mientras que la base presentó un valor de 33,36 %, consecuentemente en cuanto al carbono fijo no hubo mucha diferencia, sin embargo, la sección que tuvo una ligera diferencia fue el ápice con una cantidad de 9,58 % y la base con un valor de 9,43 %.

Se acepta la hipótesis alternativa ya que al menos hubo una diferencia significativa en el contenido de humedad o en la cantidad de carbono fijo almacenado en las dos secciones del fuste de la especie forestal. En este caso hubo diferencia significativa en el contenido de humedad, mientras que para la cantidad de carbono fijo no existe diferencia.

## **RECOMENDACIONES**

Se considera trabajar con el nombre científico en la mayoría de los árboles maderables, ya que el nombre común trae controversia en diferentes localidades y pueden existir errores a la hora de poder identificar una especie.

Se recomienda realizar más estudios acerca del contenido de humedad y el carbono fijo en especies del género *Croton*, debido a que son árboles sumamente aprovechados y de alguna manera se necesita saber todas sus características físicas para la trabajabilidad de su madera en futuras investigaciones.

Se recomienda realizar un estudio de mercado referente al uso de la madera de la especie *Croton tescmannii* Mansf., para conocer su calidad y poder hacer un análisis acerca de la oferta y demanda de esta especie.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUILAR, J., & GUZOWSKI, E.** *Materias y materiales primas, capítulo 3, maderas* [en línea]. República de Argentina: Ministerio de Educación-Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2011. [Consulta: 10 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/madera.pdf>

**AVENDAÑO, D; et al.** “Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*” *Revista Fitotec Mexicana* [en línea], 2009, (México), 32 (3), pp. 233 – 238. [Consulta: 11 diciembre 2022]. ISSN 0187-7380. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v32n3/v32n3a11.pdf>

**ARAGÓN, C., & MARTÍNEZ, B.** Valoración económica en la captura de carbono de las especies *Escallonia resinosa* y *Polylepis incana*, en el Parque Arqueológico de Sacsayhuamán - Cusco, 2022 [En línea] (Trabajo de integración curricular). Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú. 2022. pp. 1-6. [Consulta: 24 de octubre 2022]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91590/Arag%c3%b3n\\_GCI-Mart%c3%adnez\\_CBD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91590/Arag%c3%b3n_GCI-Mart%c3%adnez_CBD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**ARMAS, M.; & PAREDES, L.** “Aprovechamiento de plantaciones forestales en Imbabura, Ecuador”. *Revista Amazónica ciencia y tecnología* [en línea], 2019, (Ecuador) 8 (2), pp. 98-106. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 1390-5600. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7153080>

**AUQUILLA CABADIANA, Mayra Alexandra.** Evaluación del contenido de carbono en las formaciones vegetales y en el suelo según su uso en tres agroecosistemas [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 2-58. [Consulta: 10 de noviembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6579/1/13T0840.pdf>

**BÁRCENAS, G; et al.** “Relación estructura-propiedades de la madera angiospermas mexicanas”. *Universidad y ciencia* [en línea], 2005, (México) 21 (42), pp. 45-55. [Consulta: 10 noviembre 2022]. ISSN 0186-2979. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15404201>

**BARRERA RODRIGUEZ, Jonathan Eduardo.** Determinación y análisis del efecto de los diferentes tipos de oxidación sobre las propiedades plásticas del carbón [en línea] (Trabajo de titulación). (Tesis) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Escuela de Metalurgia, Colombia. 2017, pp. 20-34. [Consulta: 12 diciembre 2022]. Disponible en: [https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3042/1/TGT\\_1627.pdf](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3042/1/TGT_1627.pdf)

**BENAVIDEZ, H. & LEÓN, G.** *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático* [en línea]. Bogotá-Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, subdirección de meteorología. 2007. [Consulta: 9 de noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>

**BERNABÉ, R., ÁVILA, L., & RUTIAGA, J.** “Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán” *Madera y bosques* [en línea], 2013, (México) 19(2), pp. 21-35. [Consulta: 12 diciembre 2022]. ISSN 1405-0471. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712013000200002&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712013000200002&script=sci_arttext)

**CAISA AGUALONGO, Gladys Alicia.** Estimación de cantidad de carbono fijo almacenado en la madera de dos especies forestales comerciales en la provincia de napo y Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería Forestal) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2022, pp. 34-40. [Consulta: 10 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17964/1/33T00404.pdf>

**CAMPOS WELLMANN, Christian Alberto.** Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la Madera de *Pinus maximinoi* H. E. Moore; Cobán, Alta Verapaz [en línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura en Ingeniería Forestal) Universidad Rafael Landívar, Guatemala. 2015, pp. 10-47. [Consulta: 01 diciembre 2022]. Disponible en: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>

**CANDO CANDO, Wilson Salomon.** Estimación de cantidad de carbono fijo almacenado en la madera de dos especies forestales comerciales en la comunidad Amulá Chico cantón Colta provincia de Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería Forestal) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2022, pp. 42-57. [Consulta: 10 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16111/1/33T00349.pdf>

**CARANQUI, Jorge.** “Manual de operaciones herbario politécnico” (CHEP). [en línea], 2011, (Ecuador) (1), p.11. [Consulta: 16 de noviembre de 2021]. Disponible en: [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/504/1/Manual\\_Procedimiento\\_Herbario1.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/504/1/Manual_Procedimiento_Herbario1.pdf)

**CARRASCO, B.** Secuestro de carbono y emisiones de CO<sub>2</sub> en ecosistemas forestales gallegos: materia orgánica edáfica y cambio global [En línea] (Trabajo de integración curricular Doctoral). Universidad de Santiago de Compostela, Departamento de Edafología y Química Agrícola. Galicia, España. 2015. pp. 49-55. [Consulta: 24 de octubre 2022]. Disponible en: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/198085/1/Secuestro%20de%20carbono\\_Carrasco.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/198085/1/Secuestro%20de%20carbono_Carrasco.pdf)

**CAMPOS WELLMANN, Christian Alberto.** Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la Madera de *Pinus maximinoi* H. E. Moore; Cobán, Alta Verapaz [en línea] (Trabajo de titulación). (Tesis) Universidad Rafael Landívar, Guatemala. 2015, pp. 10-47. [Consulta: 01 diciembre 2022]. Disponible en: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>

**CASTRO JIMÉNEZ, Diana Catherine.** Evaluación del proceso de pirólisis aplicado al material lignocelulósico residual proveniente del *Pino patula* en atmosfera de dióxido de carbono [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería Mecánica) Universidad Libre de Colombia, Bogotá. 2018, pp. 1-63. [Consulta: 01 diciembre 2022]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11025/TRABAJO%20DE%20GRADO%20FINAL%20DIANA%20CATHERINE%20CASTRO%20JIMÉNEZ%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**DÍAZ, G.** “El Cambio Climático”. *Ciencia y Sociedad* [en línea], 2012, (República Dominicana) 37 (2), pp. 227-240. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 0378-7680. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>

**FREIRE, F.** *Botánica Sistemática Ecuatoriana* [en línea]. Ecuador: Missouri Botanical Garden, 2004. [Consulta: 10 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/290435567\\_Botanica\\_Sistemática\\_Ecuatoriana](https://www.researchgate.net/publication/290435567_Botanica_Sistemática_Ecuatoriana)

**FOGLIA, R.** “Conceptos básicos sobre el secado de la madera” *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* [en línea], 2005, (Costa Rica) 2(5), pp. 88-92. [Consulta: 10 diciembre 2022]. ISSN 2215-2504. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5123396>



**GODOY VALDIVIEZO, Pilar Cristina.** Análisis del poder calorífico de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* para la elaboración de carbón en el cantón Guano, provincia de Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba, Ecuador. 2022. pp. 3-34. [Consulta: 10 de diciembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16109/1/33T00347.pdf>

**GUARIGUATA, M; et al.** *Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro* [en línea]. Perú: CIFOR, 2017. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en:

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=D\\_xPDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=plantaciones+forestales+en+peru&ots=BjUTxyCxqQ&sig=DHKYtSPzDT4IKbGeCd0-SzzM51s](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=D_xPDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=plantaciones+forestales+en+peru&ots=BjUTxyCxqQ&sig=DHKYtSPzDT4IKbGeCd0-SzzM51s)

**HOLGÍN, B.; & DELGADO, D.** “Estudio económico del comportamiento de la madera en el Ecuador en los últimos años”, *OIDLES* [en línea], 2019, (Ecuador) 25. [Consulta: 10 noviembre 2022]. ISSN 1988-2483. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/oidles/25/madera-ecuador.html>

**INAMHI.** Anuarios meteorológicos [blog]. 2020. [Consulta: 13 febrero 2023]. Disponible en: <https://elyex.com/inamhi-anuarios-metereologicos-en-pdf/>

**INEN.** Maderas. Determinación del contenido de humedad [en línea], 2012, (Ecuador) (1), pp. 1-100. [Consulta: 11 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1160.pdf>

**NTE INEN 2847.** *Norma de normas. principios de normalización.*

**JIMÉNEZ, Jaime de la Manta.** Influencia de la humedad de la madera en la evaluación de las propiedades mecánicas del pino silvestre mediante técnicas no destructivas [en línea] (Trabajo de titulación). (Tesis) Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid. 2011, pp. 4-42. [Consulta: 10 diciembre 2022]. Disponible en: [https://oa.upm.es/36492/1/PFC\\_JAIME\\_DE\\_LA\\_MATA\\_JIMENEZ.pdf](https://oa.upm.es/36492/1/PFC_JAIME_DE_LA_MATA_JIMENEZ.pdf)

**Jimeno, Irene.** *Propiedades físicas* [Blog]. Madrid, 2022. [Consulta: 30 noviembre 2022]. Disponible en: <https://tocamaderablog.com/propiedades-fisicas/>

**MAE.** *Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental* [blog]. [Consulta: 17 diciembre 2021].

**MARCO, Y.** *Dendrología y arqueología: las huellas del clima y de la explotación humana de la madera* [en línea]. España: *In Avances en arqueometría*, 2005. [Consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.divulgameteo.es/uploads/Dendrolog%C3%ADa-arqueolog%C3%ADa.pdf>

**MARTÍNEZ, J.; & FERNÁNDEZ, A.** *Cambio climático: una visión desde México* [en línea]. 1ª ed. Delegación Coyoacán, México D.f.: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2004. [Consulta: 12 diciembre 2022]. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53409504/Victor-Jaramillo-Cambio-Climatico-Una-Vision-desde-Mexico--libre.pdf?1496985971=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DVictor\\_Jaramillo\\_Cambio\\_Climatico\\_Una\\_Vi.pdf&Expires=1670910086&Signature=dIuib0LyHnA~qgR5dLoFmjuPzTgw8a3uBHBuYgKcojq4hYSsxM1eB1DhuiV3BpRg2SWHf0h4wV0WE0TESupfyVvqlluLehxby2Ig0kbEezfWIYXGPgwr8T08OJ64Nl3JaraC2ri4siQv0cRLJqxzGBzz1KSPokQPauZhpF8030HAY6Col58CVAaGjJ1vAzZMwbw0FqYwG6Rc5f0PlrP2bpsO5P74ZCtYrxHyNUsc8T~TR~UISPmYOgpqJdXS3EPUS-MfQW8rucaoZjuG1fNKn3A5Om~W5SDSOScHFQiuMvp6yV~pQLZFIgIjAUvHldinNHed-EpcDfCu7oI1q1Rw\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=75](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53409504/Victor-Jaramillo-Cambio-Climatico-Una-Vision-desde-Mexico--libre.pdf?1496985971=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DVictor_Jaramillo_Cambio_Climatico_Una_Vi.pdf&Expires=1670910086&Signature=dIuib0LyHnA~qgR5dLoFmjuPzTgw8a3uBHBuYgKcojq4hYSsxM1eB1DhuiV3BpRg2SWHf0h4wV0WE0TESupfyVvqlluLehxby2Ig0kbEezfWIYXGPgwr8T08OJ64Nl3JaraC2ri4siQv0cRLJqxzGBzz1KSPokQPauZhpF8030HAY6Col58CVAaGjJ1vAzZMwbw0FqYwG6Rc5f0PlrP2bpsO5P74ZCtYrxHyNUsc8T~TR~UISPmYOgpqJdXS3EPUS-MfQW8rucaoZjuG1fNKn3A5Om~W5SDSOScHFQiuMvp6yV~pQLZFIgIjAUvHldinNHed-EpcDfCu7oI1q1Rw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=75)

**MARTÍNEZ, R., EWENS, M., SCHIMPF, R., RUIZ, A., & BENÍTEZ, F.** “Propiedades físicas y mecánicas de la madera de corta final de *Prosopis alba* gris” *Forest Veracruzana* [en línea], 2017, (México) 19 (1), pp. 17-22. [Consulta: 30 noviembre 2022]. ISSN 1405-7247. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49752128003>

**MENDOZA, C.; & JIMÉNEZ, G.** “Relación entre el efecto invernadero y el cambio climático desde la perspectiva del sector agrario”. *Facultad Nacional de Agronomía* [en línea], 2017, Medellín-Colombia 70 (2), pp. 87-90. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 0304-2847. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179951188001>

**MESERA, B.** “Captura de carbono ante el cambio climático”. *Madera y Bosques* [en línea], 2001, (México) 7 (1), pp. 3-12. [Consulta: 10 de noviembre 2022]. ISSN: 1405-0471. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf>

**MORENO, E.** “El herbario como recurso para el aprendizaje de la botánica”. *Acta Botánica Venezuelica* [en línea], 2007, (Venezuela) 30 (2), pp. 415-427. [Consulta: 10 noviembre 2022]. ISSN 0084-5906. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0084-59062007000200009&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0084-59062007000200009&script=sci_arttext)

**LEÓN, H.; & WILLIAMS, J.** “Anatomía de la madera y clave de identificación para especies forestales vedadas en Venezuela”. *La Revista Forestal Venezolana* [en línea], 2009, (Venezuela) 53 (1), pp. 51+. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://link.gale.com/apps/doc/A303642836/IFME?u=anon~2187f3cb&sid=googleScholar&xid=fac37a55>

**LÓPEZ, M.** Una mirada a las Normas Técnicas, qué son y para qué sirven. Buenos Aires, 20, 1 (2020) p.1.

**OBANDO, E.** “El Calentamiento Global como Amenaza a la Seguridad Nacional”. *Pensamiento Conjunto* [en línea], 2018, (Perú) 6 (1), p. 22. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 2707-367X. Disponible en: <http://www.pensamientoconjunto.com.pe/index.php/PC/article/view/87>

**ORE, Malu.** Caracterización morfológica y molecular de las especies del género *Croton L.* (Euphorbiaceae) denominadas “sangre de grado” en la Amazonía peruana [en línea] (Trabajo de titulación). (Tesis) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela Profesional de Ciencias Biológicas. Lima, Perú. 2019, pp. 56-58 [Consulta: 6 febrero 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/323352087.pdf>

**PANDURO, C.** “Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales”. *Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER)* [en línea], 2012, (Perú) 2 (1), pp. 1-18. [Consulta: 11 diciembre 2022]. Disponible en: [http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT\\_REPORTS/PD512.08\\_Technical%20report%20-%20Transformacion%20quimica%20de%2010%20especies%20de%20bosques%20secundarios.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/PD512.08_Technical%20report%20-%20Transformacion%20quimica%20de%2010%20especies%20de%20bosques%20secundarios.pdf)

**RIOS GARCÍA, Guido.** Caracterización dendrológica de los árboles del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva [en línea] (Trabajo de integración curricular). (Tesis) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú, 2006. pp. 3-20. [Consulta: 10 noviembre 2022]. Disponible en:

<https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/566/T.FRS-169.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**RODRIGUEZ CELIZ, Sergio.** Estimación del potencial de captura de carbono, de la especie capirona (*Calycophyllum spruceanum*) en el centro ecológico la Julianita 2012 [en línea] (Trabajo de integración curricular). Universidad nacional de San Martín, Facultad de Ecología, Ingeniería Ambiental. Moyobamba, Perú. 2014. pp. 1-2. [Consulta: 23 de octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/146/6050612.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**ROJAS, F.** *Plantaciones Forestales* [en línea]. Cartago-Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica: Centro de Información Tecnológica, 1997. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=-T-aJYgXgREC&oi=fnd&pg=PR9&dq=plantaciones+forestales&ots=fkFbqml8A0&sig=NfXMk6M-Pkwifs2quymz3iilphE#v=onepage&q&f=false>

**RUANO, J.** Estimación de la captura de carbono en el Ecoparque de las Garzas, Cali Valle del Cauca. [en línea], 2019, (Colombia) 2 (6), p.1. [Consulta: 30 de noviembre 2021]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11681/T08800.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

**RUÍZ SEPÚLVEDA, Jorge.** Estudio de las características dendrológicas - anatómicas y propiedades físicas de dos especies forestales Bolaina negra (*Guazuma ulmifolia* Lam) y Auca atadizo (*Croton matourensis* Aubl) en la Región San Martín [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería Agroindustrial) Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Tarapoto. 2019, pp. 1-65. [Consulta: 10 febrero 2023]. Disponible en: <https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3492/4/FIAI%20-%20Jorge%20Ruíz%20Sepúlveda.pdf>

**SUIREZAS, T.; & BERGER, G.** *Descripción de las propiedades físicas y mecánicas de la madera* [en línea]. 1a ed. Argentina: Editorial Universitaria de las Universidad Nacional de Misiones, 2010. [Consulta: 30 noviembre 2022]. Disponible en: [https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos\\_digitales/f5\\_978-950-579-154-5.pdf](https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf)

**TACARPO, A.** “Estimación del potencial de captura de carbono de las especies de flora predominante de la parte alta del bosque de la comunidad campesina de tumpa – provincia de Yungay, 2018”. [en línea], 2018, (Perú) 1 (5), p. 7. [Consulta: 29 de noviembre de 2022].

Disponible en:  
[http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2780/T033\\_70569127\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2780/T033_70569127_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**TORRES CARO, Carlos Francisco, & ZAMUDIO ARANCIBIA, Francisco.** Estudio genético de las propiedades químicas de la madera en las especie *Pinus radiata* D.Don [en línea] (Tesis Doctoral). (Doctorado) Universidad de Talca, Chile. 2002. [Consulta: 11 diciembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/3694>

**VELA MOGROVEJO, Pablo Petter.** Variación de los principales componentes químicos a diferentes niveles longitudinales de fuste en corteza y madera de *Croton matourensis* Aubl. (aucatadijo) en los distritos de Campo Verde y Curimaná [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería Forestal) Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. 2015, pp. 49-51. [Consulta: 10 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/2022/000001195T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**YANEZ, JANETT.** “Auditorías, Mejora Continua y Normas ISO: factores clave para la evolución de las organizaciones”. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias [en línea], 2012, (Venezuela) 3(9), pp. 83-92. [Consulta: 10 febrero 2023]. ISSN: 1856-8327. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2150/215026158006.pdf>



## ANEXOS



### ANEXO A: RECOLECCIÓN DE LA MADERA

Corte de rodelas de especie ( <i>Croton tessmannii</i> )	Etiquetado de las muestras ( <i>Croton tessmannii</i> )	Muestras en estudio ( <i>Croton tessmannii</i> )
		

### ANEXO B: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS BOTÁNICAS

Obtención de muestras en campo	Muestras listas para ser prensadas	Prensado de muestras
		

## ANEXO C: PREPARACIÓN DE PROBETAS DE MADERA

Corte de rodelas	Etiquetado de probetas de madera
	

## ANEXO D: LABORES REALIZADAS EN LA FASE DE LABORATORIO

Etiquetado de crisoles	Tarado de crisoles
	
	

## ANEXO E: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HÚMEDAD

Preparación de muestras para toma de datos del contenido de humedad de la especie	Colocación de las muestras en la estufa durante 24-48 horas
 	
Colocación de muestras en el desecador	
	



## ANEXO F: DETERMINACIÓN DEL MATERIAL VOLÁTIL A PARTIR DE LA MADERA

Preparación de muestras antes de ingresar a la mufla	Material volátil a 900 °C
 A photograph showing a row of 12 small white ceramic crucibles arranged on a light-colored tiled floor. To the left, there is a white plastic bottle and some papers, suggesting a laboratory or workshop setting.	  Two photographs showing the muffle furnace. The top one shows the furnace interior with a bright orange glow and a digital display at the bottom showing '900'. The bottom one shows a tray containing 12 white crucibles, each containing a small amount of dark, charred material, placed inside the furnace.

## ANEXO G: DETERMINACIÓN DE CENIZAS A PARTIR DE LA MADERA

Muestras en la mufla de 400 °C a 750 °C hasta llegar a cenizas	
 A photograph of a muffle furnace with its door open, showing a bright orange glow from the interior. A digital display on the front panel shows '750'.	  Two photographs showing the crucibles. The top one shows a large, clear plastic container with a lid, containing several white crucibles. The bottom one shows a tray containing 12 white crucibles, each containing a small amount of dark, charred material (ash).

**ANEXO H: PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL MATERIAL VOLÁTIL**

Secciones del árbol		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<b>Material Volátil</b>	Ápice	0,923	15	<b>0,212</b>
	Base	0,945	15	<b>0,443</b>

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

**ANEXO I: PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL CONTENIDO DE CENIZAS**

Secciones del árbol		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<b>Contenido de cenizas</b>	Ápice	0,973	15	<b>0,904</b>
	Base	0,979	15	<b>0,960</b>

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

**ANEXO J: BASE DE DATOS PARA LA VARIABLE HUMEDAD DE LA ESPECIE**

Árbol	SECCIÓN	Peso muestra fresca + crisol	Peso muestra + crisol 24H	Peso muestra + crisol 48h	% Humedad	PROMEDIO
		PESO 2	PESO 3	PESO 4	FORMULA	
<b>1</b>	<b>APICE</b>	52,55	49,38	49,37	36,74	37,04
		50,37	46,58	46,56	37,69	
		49,42	45,95	45,95	38,04	
		49,71	46,19	46,19	39,55	
		50,69	47,48	47,48	33,17	
	<b>BASE</b>	51,53	47,90	47,89	24,43	31,89
		53,47	49,57	49,57	38,91	
		51,64	47,30	47,29	31,49	
		50,64	46,70	46,69	31,97	
		51,95	48,26	48,26	32,64	
<b>2</b>	<b>APICE</b>	52,91	49,05	49,05	36,71	38,61
		49,50	45,80	45,80	36,97	
		49,35	45,41	45,41	43,12	
		49,42	45,33	45,33	38,31	
		50,59	46,81	46,80	37,91	
	<b>BASE</b>	51,70	47,44	47,43	35,00	34,64

		54,86	50,17	50,17	29,65	
		51,44	47,49	47,49	36,91	
		50,96	46,51	46,51	37,15	
		53,98	48,99	48,99	34,51	
3	APICE	52,43	49,03	49,02	35,85	38,32
		51,42	47,19	47,18	39,62	
		49,40	46,14	46,13	36,58	
		49,97	45,58	45,58	39,68	
		50,77	46,99	46,99	39,89	
	BASE	51,22	47,35	47,35	31,92	33,55
		54,17	49,98	49,98	33,89	
		51,79	47,55	47,55	31,49	
		52,37	47,23	47,23	35,60	
		53,21	49,00	49,00	34,83	

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

### ANEXO K: BASE DE DATOS DE MATERIAL VOLÁTIL DE LA ESPECIE

Árbol	Sección	Peso MV + Crisol	% Material Volátil
1	APICE	44,03	50,74
		41,37	51,34
		41,17	51,44
		41,09	49,22
		41,93	54,43
	BASE	42,12	64,34
		44,38	50,38
		41,83	58,34
		41,24	56,62
		42,86	56,56
2	APICE	43,75	53,98
		41,06	54,37
		40,95	48,68
		40,72	54,05
		41,59	53,00
	BASE	41,80	56,92
		44,31	61,53
		41,72	53,77
		40,99	54,07
		42,87	56,41
3	APICE	43,84	53,45
		41,39	50,26
		41,11	53,53
		40,84	51,90
		41,68	50,29
	BASE	42,01	57,58
		44,38	56,09
		41,86	58,21
		41,22	54,76
		42,99	54,42

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

**ANEXO L: BASE DE DATOS PARA EL CONTENIDO DE CENIZA DE LA ESPECIE**

Árbol	SECCIÓN	Muestra	Peso de ceniza + crisol	% Contenido de ceniza	PROMEDIO
1	APICE	1	42,85	0,39	0,419
		2	40,31	0,49	
		3	40,24	0,43	
		4	40,06	0,59	
		5	40,71	0,20	
	BASE	6	40,97	0,43	0,432
		7	43,34	0,49	
		8	40,75	0,31	
		9	40,08	0,51	
		10	41,80	0,41	
2	APICE	11	42,84	0,30	0,409
		12	40,29	0,34	
		13	40,25	0,55	
		14	40,03	0,35	
		15	40,74	0,51	
	BASE	16	40,97	0,40	0,597
		17	43,35	0,61	
		18	40,78	0,56	
		19	40,11	0,78	
		20	41,83	0,63	
3	APICE	21	42,84	0,31	0,393
		22	40,32	0,52	
		23	40,24	0,43	
		24	40,03	0,32	
		25	40,73	0,38	
	BASE	26	40,99	0,64	0,541
		27	43,36	0,69	
		28	40,75	0,30	
		29	40,09	0,54	
		30	41,82	0,54	

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

**ANEXO M: BASE DE DATOS PARA ESTIMAR EL CARBONO FIJO EN LA ESPECIE**

Árbol	SECCIÓN	humedad	Material volátil	Ceniza	CARBONO FIJO	PROMEDIO
1	APICE	36,74	50,74	0,39	12,14	11,11
		37,69	51,34	0,49	10,48	
		38,04	51,44	0,43	10,09	
		39,55	49,22	0,59	10,64	
		33,17	54,43	0,20	12,20	
	BASE	36,71	53,98	0,30	9,00	8,17
		36,97	54,37	0,34	8,32	
		43,12	48,68	0,55	7,65	
		38,31	54,05	0,35	7,30	
		37,91	53,00	0,51	8,58	
2	APICE	35,85	53,45	0,31	10,40	9,40
		39,62	50,26	0,52	9,60	
		36,58	53,53	0,43	9,46	
		39,68	51,90	0,32	8,10	
		39,89	50,29	0,38	9,44	
	BASE	24,43	64,34	0,43	10,79	10,43
		38,91	50,38	0,49	10,22	
		31,49	58,34	0,31	9,85	
		31,97	56,62	0,51	10,89	
		32,64	56,56	0,41	10,38	
3	APICE	35,00	56,92	0,40	7,68	8,22
		29,65	61,53	0,61	8,20	
		36,91	53,77	0,56	8,77	
		37,15	54,07	0,78	8,01	
		34,51	56,41	0,63	8,45	
	BASE	31,92	57,58	0,64	9,86	9,70
		33,89	56,09	0,69	9,33	
		31,49	58,21	0,30	10,00	
		35,60	54,76	0,54	9,11	
		34,83	54,42	0,54	10,20	

Realizado por: Silva, Jhonnathan, 2023.

ANEXO N. CERTIFICADO OTORGADO POR EL HERBARIO DE LA ESPOCH



**HERBARIO POLITECNICA CHIMBORAZO (CHEP)**

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL CHIMBORAZO  
Panamericana sur Km 1, fono: (03) 2 998-200 ext. 700123, jcaranqui@yahoo.com  
Riobamba Ecuador

**Ofc.No.005.CHEP.2023**

Riobamba, 16 de febrero del 2023

**A QUIEN CORRESPONDA**

De mis consideracion:

Reciba un atento y cordial saludo, por medio de la presente certifico que el señor SILVA ALVARADO JHONNATHAN PATRICIO con CI: 172501193-4, entregó 1 muestra botánica fértil (lista), identificada, comparando con muestras de la colección y verificación del nombre en el catálogo de plantas Vasculares del Ecuador; Nombre del Proyecto: ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE CARBONO FIJO ALMACENADO EN LA MADERA DE UNA ESPECIE FORESTAL COMERCIAL EN EL CANTÓN GONZALO PIZARRO, PROVINCIA DE SUCUMBIOS según autorización de Investigación N°. MAATE-ARSFC-2023-2972 La muestra fértil se procesará y en un tiempo no determinado ingresarán a la colección del herbario.

FAMILIA	ESPECIE	ESTADO
Euphorbiaceae	<i>Croton tessmannii</i> Mansf.	Fértil

Me despido, atentamente

JORGE  
MARCELO  
CARANQUI  
ALDAZ

Firmado digitalmente  
por JORGE MARCELO  
CARANQUI ALDAZ  
Fecha: 2023.02.17  
08:10:12 -05'00'

Ing. Jorge Caranqui A.  
RESPONSABLE HERBARIO CHEP

FACULTAD DE  
RECURSOS  
NATURALES



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 06 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Jhonnathan Patricio Silva Alvarado
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales
<b>Carrera:</b> Ingeniería Forestal
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Forestal
<b>f. responsable:</b> Ing. Crithian Fernando Castillo Ruiz



Ing. C. Fernando Castillo

0978-DBRA-UTP-2023