



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DE CARBONO FIJO EN BOSQUE NUBLADO EN LA
RESERVA SABIA ESPERANZA UBICADA EN IMBABURA-ECUADOR”**

**PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORAS:

Rossaura Salomé Collahuazo Santander

Karla Katherine Taicud Pantoja

DIRECTOR:

Dr. Juan Carlos García. PhD.

Ibarra - Ecuador

2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DE CARBONO FIJO EN BOSQUE NUBLADO EN LA
RESERVA SABIA ESPERANZA UBICADA EN IMBABURA-ECUADOR”**

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención del Título de:

INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Dr. Juan Carlos García. PhD.

DIRECTOR

Ing. María Vizcaino

ASESOR

Ing. José Guzmán. MsC

ASESOR

Ing. Franklin Sánchez. MsC

ASESOR

IBARRA – ECUADOR

SEPTIEMBRE, 2018



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1003699384	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Collahuazo Santander Rossaura Salomé	
DIRECCIÓN:		San Antonio – Ibarra - Imbabura	
EMAIL:		salomecollahuazo2016@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	2551-252	TELÉFONO MÓVIL:	0998861112

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1003503297	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Taicud Pantoja Karla Katherine	
DIRECCIÓN:		San Antonio – Ibarra - Imbabura	
EMAIL:		karlykat19933101@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	2932-727	TELÉFONO MÓVIL:	0985828574

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE CARBONO FIJO EN BOSQUE NUBLADO EN LA RESERVA SABIA ESPERANZA UBICADA EN IMBABURA-ECUADOR
AUTORAS:	Collahuazo Santander Rossaura Salomé Taicud Pantoja Karla Katherine
FECHA:	01/10/2018
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Dr. Juan Carlos García. PhD.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 27 días del mes de septiembre de 2018

LAS AUTORAS:



Collahuazo Santander Rossaura Salomé

C.I. 100369938-4



Taicud Pantoja Karla Katherine

C.I. 100350329-7

AGRADECIMIENTO

En primera instancia quiero agradecer a Dios por caminar junto a mí, darme la fortaleza para culminar este sueño anhelado y por ser el soporte que guía mis días. A mi madre Rosa por su infinito amor, sus palabras de alimento durante el desarrollo de este trabajo, por su ejemplo de superación, responsabilidad y perseverancia. A mi hermana Verónica por su confianza y por ser mi cómplice de vida, a mi hermano Rubén por su cariño y a mis dos sobrinos Alan y Martina por ser la alegría de la casa con sus travesuras y maravillosa presencia. A la memoria de mi abuelita quien con su cariño marco mis días con un matiz de sabiduría y felicidad, a todos ellos infinitas gracias.

Al Señor Marcelo Ramírez, propietario de la Reserva Privada Sabia Esperanza quien brindo la apertura para realizar la investigación en la zona de bosque nublado. A la Universidad Técnica del Norte por fomentar la investigación en este tipo de ecosistemas.

A mi tutor Juan García y mis asesores Franklin Sánchez y José Guzmán, por su paciencia, y trabajo en equipo para la realización de este proyecto. En especial a mi asesora la Ing. María Vizcaíno por su valiosa amistad, paciencia, dedicación y compromiso. Por compartir sus conocimientos y experiencia, que hicieron posible este trabajo.

A mis amigos, por las aventuras, las bromas, las sonrisas, las frases alentadoras, su presencia ha sido una bendición para mi vida. A mi amiga Karla, por su amistad incondicional. El camino no ha sido sencillo, pero el apoyo continuo permitió culminar esta meta con éxito, mi más sincero agradecimiento y mi afecto eterno.

Salomé

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, quien ha bendecido y guiado mi camino, por haberme permitido llegar hasta este punto y ser fortaleza en los momentos de dificultad.

A mis padres Alfredo y Carmela, por ser mi pilar fundamental, por su esfuerzo y apoyo incondicional en todos estos años, gracias por su amor y confianza.

A mis príncipes Chris, Armando, Jorge y Alexis. Hermanos, gracias por ser mi compañía y brindarme su cariño.

A los dos seres más importantes de mi vida, Camila y Mateo, por ser motivo y apoyo de cada uno de mis sueños. Quienes han llenado mis días de felicidad y amor.

A mis docentes quienes, con sus conocimientos y enseñanza, nos han hecho crecer día a día como profesionales. En especial a Juan Carlos García, tutor del trabajo de titulación y a mis asesores María Vizcaíno, José Guzmán y Franklin Sánchez, por brindarnos su amistad, paciencia y compromiso.

Un agradecimiento profundo a la comunidad La Floresta y a los administradores de la reserva Sabia Esperanza, quienes nos abrieron sus puertas y permitieron realizar el proceso investigativo.

Finalmente quiero agradecer a toda mi familia, amigos y conocidos, con quienes he compartido momentos únicos. Gracias por su apoyo, consejos y amistad. En especial a Salomé, amiga incondicional con quien supimos afrontar las adversidades y terminar con éxito el desarrollo de la investigación.

¡Gracias Totales!

Katy

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico a mi madre Rosa Collahuazo, por su apoyo y amor incondicional, a la memoria de mi abuelita Carmen Santander, a mi hermana Verónica Collahuazo, por siempre creer en mí, a mi hermano Rubén López, mis sobrinos Alan Delgado y Martina Delgado, por ser el soporte de alegría que conjuntamente con el esfuerzo y sacrificio han hecho posible la culminación de mis estudios superiores.

Salomé

DEDICATORIA

Con todo mi cariño, a mis dos ángeles. Mis inolvidables abuelitas, quienes cuidan cada paso de mi vida.

A mi madre Carmela y mi padre Alfredo, por luchar cada día y brindarme su infinito amor.

A el regalo más grande que me ha dado la vida. Mi hija Camila, a quien le debo ejemplo y protección. Juntas hasta el fin.

A mis sobrinos, Jair, Ali, Matews, Brithany, Domi, Matías y Aline. Personitas que llenan de alegría mi mundo.

Katy

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xi
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I	14
INTRODUCCIÓN	14
1.1. Problema de investigación y justificación	14
1.2. Pregunta directriz	19
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Marco legal	20
CAPÍTULO II	23
METODOLOGÍA	23
2.1. Caracterización del área de estudio	23
2.2. Métodos	24
2.3. Materiales y equipos	32
CAPÍTULO III	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1 Resultados	33
3.2 Discusión	46
CAPÍTULO IV	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
4.1. Conclusiones	51
4.2. Recomendaciones	51
REFERENCIAS	53
ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales de campo, equipos y softwares utilizados en la investigación	32
Tabla 2. Frecuencia absoluta y relativa de las familias vegetales.	34
Tabla 3. Densidad básica y biomasa total.	37
Tabla 4. Ecuaciones alométricas generadas para la predicción de biomasa aérea medida en el bosque nublado de la Reserva Sabia Esperanza Imbabura - Ecuador.	38
Tabla 5. Biomasa aérea por parcela, biomasa aérea y contenido de carbono en áreas homogéneas, superficie, porcentaje.	39
Tabla 6. Actividades del proyecto de protección participativa del bosque nublado.	41
Tabla 7. Actividades del proyecto de educación ambiental para el manejo adecuado de los recursos naturales.	43
Tabla 8. Actividades del proyecto acciones comunitarias de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.	45
Tabla 9. Comparación de densidades básicas	47
Tabla 10. Modelos alométricos para estimar la biomasa	48
Tabla 11. Comparación de resultados de carbono fijo	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de investigación	23
Figura 2. Distribución de las parcelas	25
Figura 3. Parcela anidada número uno	25
Figura 4. Parcela anidada número dos.	26
Figura 5. Distribución de parcelas de muestreo	33
Figura 6. Distribución de frecuencias: diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal (AB), altura (HT), diámetro de copa (DC).	35
Figura 7. Curva hipsométrica de secado del componente hojas	36
Figura 8. Curva hipsométrica de secado del componente ramas secundarias	36
Figura 9. Curva hipsométrica de secado del componente corteza	37
Figura 10. Biomasa observada vs biomasa estimada por árbol	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	27
Ecuación 2	28
Ecuación 3	28
Ecuación 4	28
Ecuación 5	29
Ecuación 6	29
Ecuación 7	39

“EVALUACIÓN DE CARBONO FIJO EN BOSQUE NUBLADO EN LA RESERVA SABIA ESPERANZA UBICADA EN IMBABURA-ECUADOR”

Rossaura Salomé Collahuazo Santander, Karla Katherine Taicud Pantoja

RESUMEN

El Ecuador ha experimentado anomalías en la temperatura producto del cambio climático que está afectando al mundo en general. Las emisiones de gases de efecto invernadero y principalmente el CO₂ son generadas por las actividades antrópicas. Sin embargo, en el proceso natural de la tierra el carbono es absorbido por los bosques, suelo y océanos principalmente, es así que el manejo sostenible de bosques es una de las estrategias para mitigar el cambio climático. Esta investigación pretende evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono fijo en el bosque nublado de la Reserva Sabia Esperanza, ubicada en el cantón San Pedro de Pimampiro, provincia de Imbabura, a través de ecuaciones alométricas, también proponer estrategias de conservación de este ecosistema. Se empleó la metodología propuesta por la Evaluación Nacional Forestal, con una ligera modificación debido a problemas de accesibilidad al terreno, se utilizó el método no destructivo en donde se establecieron relaciones en función de la biomasa y variables independientes. Se construyeron modelos alométricos para biomasa y carbono, con las variables DAP y HT, posteriormente se analizan las correlaciones y regresiones entre la biomasa y los valores reales y transformados. La ecuación alométrica generada para el estrato bosque es $B = 46,51 + 478,20 DAP (LN (DAP \times HT))$ con un R² de 0,95. Para la estimación de contenido de carbono se utilizó el factor de conversión estándar de material vegetal a contenido de carbono de 0,5. Se registró una biomasa total de 62616,67 ton y 31308,33 ton de contenido de carbono en 1122,57 ha de zonas homogéneas. Finalmente se elaboran tres estrategias: conservación del bosque nublado como sumidero de carbono, educación ambiental y proyectos de desarrollo local.

Palabras clave: Bosque nublado, biomasa, carbono, ecuaciones alométricas, conservación.

**“FIXED CARBON EVALUATION IN CLOUDY FOREST IN THE SABIA
ESPERANZA RESERVE LOCATED IN IMBABURA-ECUADOR”**

Rossaura Salomé Collahuazo Santander, Karla Katherine Taicud Pantoja

ABSTRACT

Ecuador has experienced anomalies in the temperature caused by climate change that is affecting the world in general. The emissions of green house gases and mainly CO₂ are generated by anthropogenic activities. However, in the natural process of earth, carbon is absorbed by forests, soil and oceans mainly. In the case of forests, it's sustainable management is one of the strategies to mitigate climate change. This research aims to evaluate the storage capacity of fixed carbon in cloud forest of Sabia Esperanza Reserve, located in the San Pedro de Pimampiro canton, Imbabura province, by using allometric equations. Then propose strategies for the conservation of this ecosystem. The methodology proposed by the National Forest Evaluation. Was used, with a modification due to problems of accessibility to the land. A non-destructive method was used where relationships were established based on biomass and independent variables. Allometric models for biomass and carbon were constructed, with the variables DAP and HT. Thus the correlations and regressions between the biomass and the real and transformed values were analyzed. The allometric equation generated for the forest stratum is $B = 46,51 + 478,20 DAP (LN (DAP \times HT))$, with R² of 0,95. For the estimation of carbon content, the standard conversion factor of vegetable material to carbon content of 0,5 was used. A total biomass of 62616,67 tons and 31308,33 tons of carbon content was recorded in 1122,57 ha of homogeneous zones. Finally, three strategies were elaborated: conservation of the cloud forest as a carbon sink, environmental education and local development projects.

Keywords: Cloud forest, biomass, carbon, allometric equations, conservation.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación y justificación

El bosque nublado se encuentra desde los 1.800 m hasta 3.000 m de altitud, en donde los árboles pueden llegar a medir de 20 – 25 m de altura de dosel, acompañados de vegetación epífita como bromelias, orquídeas, helechos; además, se encuentran varias especies de bambúes que tienen una amplia distribución (Sierra, 1999). Es un ecosistema arbóreo que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas y edades (COMAFORS, 2007). El bosque es uno de los recursos naturales más importantes, resaltando el proceso ecológico espontáneo que interrelaciona otros recursos como el agua, la biodiversidad, el suelo, el aire, el paisaje (Barrantes, Chaves, & Vinuesa, 2010).

En general, las plantas absorben el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis y este participa en procesos fenológicos para la formación de componentes del árbol, en el cual el carbono se deposita principalmente, en los troncos y ramas de los árboles, estos componentes aportan materia orgánica al suelo y al degradarse dan origen al humus, el cual contiene CO₂, por esta razón los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico (González, 2008). Los bosques están estrechamente relacionados con el equilibrio del ciclo del carbono, el cual es considerado como un conjunto de depósitos interconectados los cuales son fuentes que pueden liberar o almacenar el CO₂ y otros gases (Álvarez G. , 2008).

Los gases de efecto invernadero (GEI) son los componentes gaseosos de la atmósfera, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes; esta propiedad produce el efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃), además existen GEI originados enteramente por el ser humano tales como los clorofluorocarbonados (CFCS) (Benavides & León, 2007). Los ecosistemas

forestales son un reservorio considerable de carbono y contienen más del 80% del carbono global de la superficie (González, 2008).

Es por esto que los ecosistemas forestales son considerados los pulmones del planeta, ya que guardan una gran biodiversidad que cumplen distintas funciones ecológicas (COMAFORS, 2007). Según Barrantes, Chaves, & Vinueza, (2010) existe una amplia variedad de bienes y servicios que beneficia a la sociedad y le agrega valor al bosque, así como la belleza paisajística de modo que impulse al ecoturismo; el recurso hídrico del cual se benefician todos los sectores económicos y sociales; la regulación de gases de efecto invernadero; la conservación de suelos; la disponibilidad de material genético (germoplasma) para la investigación científica; la dotación de productos alimenticios y medicinales.

Las actividades antrópicas promueven el cambio de uso del suelo y el crecimiento de la frontera agrícola, originando degradación y pérdida de ecosistemas forestales, tal es el caso de Ecuador que sufre una disminución anual del 1,8% de bosques primarios, considerándose la tasa más alta de América Latina, las principales causas son el cambio de la cobertura vegetal y las actividades extractivas (FAO, 2015). La deforestación es una de ellas, es un proceso de conversión antrópica total o parcial de las formaciones arbóreas en otra cobertura y uso de la tierra (MAE, 2012). Es considerada una fuente importante de liberación de carbono, pues al quemar la cubierta vegetal el carbono retenido queda libre, usando el O₂ del aire y el carbono almacenado en la madera para liberar al final dióxido de carbono, de esta manera el ecosistema pierde su capacidad de prestar bienes y servicios ecosistémicos, como el almacenamiento de CO₂ (Sánchez, 2016).

Entonces, las formaciones boscosas constituyen un sumidero de carbono, es decir fijan una parte importante del CO₂ provenientes de la actividad industrial, la ganadería y la deforestación. Por lo cual, la evaluación del contenido de carbono presente en los bosques es fundamental, pues, entorno a ello se genera un gran debate entre quienes forman parte de comités de cambio climático, la gestión forestal gubernamental y privada, con el objetivo de conocer el aporte que realizan

estos ecosistemas a la mitigación del cambio climático (Landázuri, 2013). A partir de la biomasa forestal se puede calcular la concentración de carbono en la vegetación, aproximadamente el 50% de la biomasa está formada por carbono (FOCER, 2002).

La estimación de la biomasa en los bosques es un tema relevante en relación con el problema del cambio climático (cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de una actividad humana), en el ámbito internacional se han iniciado estrategias para la mitigación del calentamiento global como las negociaciones de créditos de carbono (González, 2008). Para hacer realidad estas estrategias en proyectos forestales es necesario medir y monitorear el carbono almacenado, especialmente en el compartimiento de biomasa aérea donde las ecuaciones de biomasa basadas en relaciones alométricas son las más utilizadas para estimar la captura de carbono en bosques (Agudelo, 2010). Como consecuencia este método se adopta en la mayoría de las investigaciones relacionadas con cuantificación de biomasa en los bosques naturales ya que presentan mucha flexibilidad en su uso; las variables más usadas son: el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (ht) y combinaciones de ellas (Fernández, 2015).

Una ecuación alométrica es una fórmula que determina de manera cuantitativa la relación de una medida de un árbol (biomasa) en función de otra medida (altura, diámetro, copa); dicha relación se fundamenta en los principios físicos y matemáticos de las propiedades dasométricas de los árboles (Picard, Saint-André, & Henry, 2012). El modelo lineal es considerado el más simple para ajustar, debido a que el modelo depende linealmente de sus coeficientes, como lo muestra la siguiente ecuación donde, $Y = a + bX^2$ y $Y = a + b \ln X$. Por lo tanto, la regresión lineal simple es la más sencilla de los modelos lineales, se caracteriza por tener una sola variable descriptiva X, y que conjuntamente con la variable de respuesta Y, forman una recta $Y = a + bX + \varepsilon$ y $\ln(B) = a + b \ln(D) + \varepsilon$, donde la variable de respuesta es $\ln(B) = Y$ y como variable explicativa $\ln(D) = X$, un modelo de que generalmente se usa para ajustar un modelo de biomasa mono específico es $\ln(B) = a + b \ln(D^2H) + \varepsilon$. Por otra parte, la regresión

lineal múltiple es la extensión de la regresión lineal simple, pues tiene más de una variable explicativa X (Ramírez et al., 2017).

Los esfuerzos mundiales para reducir el cambio climático están en constante avance, es así, que la evaluación del potencial de carbono que poseen diferentes ecosistemas, han sido prioritarios para instituciones gubernamentales, privadas, regionales y locales, que han reunido esfuerzos para generar acciones encaminadas a mitigar el cambio de uso del suelo y por consiguiente reducir las emisiones provenientes de la deforestación; las acciones contempladas en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), van encaminadas a proteger las reservas de carbono forestal, promover el aumento de reservas de carbono forestal y la gestión sostenible de los bosques (MAE, 2012). La misma institución cuenta con un Manual de Campo para la Evaluación Nacional Forestal, juntamente con ONU.REDD+ y el aporte de Manejo Forestal ante el cambio climático, para proyectos de este tipo.

Ecuador está vinculado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) desde 1994 y se ratificó el Protocolo de Kioto en el año 1999, desde entonces por medio del Ministerio del Ambiente Ecuatoriano, gestiona la reducción de emisiones y obtención de energía limpia, mediante estrategias de mitigación frente al cambio climático (MAE, 2012). Los proyectos suscritos a los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), son en su mayoría, proyectos de generación de energía hidroeléctrica, aprovechamiento de biogás, generación de energía eólica y en su minoría proyectos forestales. El estado ecuatoriano participa activamente en el mercado de carbono desde el 2003, desarrollando estrategias que le permitan incursionar en el mercado internacional y obtener réditos económicos de los (MDL), sin embargo, los proyectos forestales han sido deficientes (Landázuri, 2013).

Por otro lado, existen estudios de la evaluación de carbono forestal, en plantaciones cultivadas con el fin, de determinar la productividad de especies como (pino, eucalipto), para el aprovechamiento comercial. El método utilizado se basa en los datos del volumen comercial, la densidad básica de la madera y el factor de expansión de la biomasa (FEB), el cual puede aplicarse en bosques

densos, secundarios o maduros correspondiente a climas húmedos y semiáridos (Gonzales, 2008).

Además, existen investigaciones de sumideros de carbono con sensores remotos, lo cual ha permitido conocer la distribución del carbono en diferentes estratos (Orellana, 2012). El uso de dichos sensores permite adquirir información de las características de los ecosistemas forestales, además de proveer datos del ciclo dinámico de la biomasa (Álvarez, 2008). La teledetección es una herramienta que permite obtener información sobre un objeto, área o fenómenos terrestres desde sensores que se hallan en plataformas espaciales (Chuvienco, 1996). La adquisición de información a distancia implica la emisión de radiación electromagnética del objeto que ha sido reflejada, la misma que depende fundamentalmente de su temperatura (González, Ruiz, & Acosta, 2013). La energía reflejada es captada y registrada por sensores remotos, las cuales son procesadas y enviadas en forma de imágenes a los receptores en la Tierra (Bravo, 2017).

La constelación de satélites PlanetScope consiste en múltiples lanzamientos de grupos de satélites individuales por lo cual proporcionan datos a tiempo real y a corto tiempo. Dicha constelación contempla aproximadamente 120 satélites los mismos que, tienen la capacidad de obtener imágenes de cualquier ubicación de la Tierra de más de 150 millones de km² / día. Cada satélite es un factor de forma CubeSat 3U (10 cm por 10 cm por 30 cm), además, llevan un telescopio y una cámara CCD marco equipada con un filtro Bayer. Las imágenes satelitales PlanetScope presentan una resolución espacial de 3 metros, constituidas por cuatro bandas: la banda red con longitud de onda de 590 a 670 nm, la banda green con longitud de onda de 500 a 590 nm, la banda blue con longitud de onda de 455 a 515 nm y la banda NIR con longitud de onda de 780 a 860 nm. Por lo tanto, dicho método o imágenes se considera el más acertado para este tipo de estudios, lo cual permite obtener resultados veraces (PLANET, 2016).

En su mayoría se ha estimado el carbono por el método destructivo, lo que incluye el corte y posteriormente el pesaje de muestras arbóreas, el cual consiste en derribar la especie vegetal, medir los parámetros básicos de un árbol entre los más importantes el diámetro a la altura del pecho DAP, altura total, diámetro de copa y

longitud de copa, posteriormente calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes tales como el fuste, ramas y follaje, de esta manera proporciona un valor exacto de la biomasa, sin embargo, el muestreo causa ciertas alteraciones en el lugar, es decir no va encaminado en el manejo adecuado de los recursos naturales (López, 2010).

Otros estudios, se realizan por medio de ecuaciones alométricas, donde se relaciona variables de fácil medición en campo y su relación con variables dasométricas, este método permite estimar la cantidad de carbono sin generar disturbios en el área de estudio (CIRAD & FAO, 2012). Por otro lado, se encuentran proyectos similares en especies nativas y en bosque nativo en menor porción (Álvarez, 2008), (Acosta, 2008).

Bajo este contexto, se plantea realizar la evaluación del carbono fijo en bosque nublado de la Reserva Sabia Esperanza, como una herramienta que permita valorar este tipo de sumideros de carbono y contribuir a la mitigación del cambio climático, a la vez fomentar a la comunidad la protección participativa de la conservación de ecosistemas naturales. Esta investigación forma parte del Proyecto de “Evaluación de Carbono Fijo en bosque nublado y páramo de la Reserva Sabia Esperanza”, avalado por la Universidad Técnica del Norte, a través del CUICYT.

Esta investigación está vinculada con el Plan Nacional del Desarrollo, en el objetivo séptimo en el cual busca *Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global* (SENPLADES, 2013).

1.2. Pregunta directriz

¿Cuál es el potencial de carbono fijo en las especies vegetales de bosque nublado, de la Reserva Sabia Esperanza?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el carbono fijo en el bosque nublado mediante la estimación de biomasa de la Reserva Sabia Esperanza ubicada en Imbabura-Ecuador

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las especies arbóreas y arbustivas presentes en el bosque nublado de la Reserva Sabia Esperanza.
- Estimar el carbono en los componentes arbóreo, arbustivo; a partir de ecuaciones alométricas.
- Elaborar estrategias de conservación para bosques nublados.

1.4. Marco legal

1.4.1. Constitución de la república del Ecuador

La realización de la presente tesis se enmarca en la Constitución de la República del Ecuador en el Art. 14.- donde se toma en cuenta la necesidad de las personas de coexistir en un ambiente sano, textualmente menciona “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”; Para promover la conservación de los ecosistemas, biodiversidad y patrimonio genético, en el Art. 72.- “Se reconoce los deberes de la naturaleza como el derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados”, conjuntamente con el Art. 276.- Donde el régimen de desarrollo tendrá como objetivo recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

La zona de estudio posee ecosistemas que no han sufrido influencia humana, es decir se encuentran en su estado natural, motivo por el cual se relaciona a la zona con el Art. 404.- “El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción”. Además, por ser un ecosistema frágil es necesario enlazarlo al Art. 406.- “El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio

de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros”.

Con referencia al cambio climático, es necesario tomar acciones de mitigación y adaptación, facilitando la implementación de mecanismos de transferencia de tecnología, financiamiento y comunicación; en el Art. 414 dice: "El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo". Por este motivo el cambio climático es un tema de transversal importancia para el Estado Ecuatoriano, puesto las acciones conjuntas que se realizan, responden a las necesidades de diferentes sectores y exigencias internacionales, por medio del cumplimiento de acuerdos internacionales y estrategias de mitigación.

1.4.2. Plan nacional de desarrollo

Esta investigación se enmarca en el plan nacional de desarrollo 2017-2021, en el objetivo 7 Política 7.10 "implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad económica y ambiental con énfasis en grupos de atención prioritaria".

1.4.3. Acuerdos ministeriales

El Acuerdo ministerial 095, del 19 de julio del 2012, establece como "Política de Estado la Estrategia Nacional de Cambio Climático". Donde se exige a los GAD's contar lineamientos que promuevan la mitigación del cambio climático, juntamente con los planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y se menciona textualmente en el Art. 4. "Los GAD's deberán presentar para aprobación del Ministerio del Ambiente sus propuestas de planes, programas y estrategias de cambio climático" a través del Acuerdo Ministerial 137. En donde se considera una herramienta complementaria a los "Lineamientos Generales para la Planificación Territorial Descentralizada". Además, permite a los GAD's

localizar las zonas más vulnerables de su territorio frente a los cambios del clima y a elaborar planes y medidas de adaptación y mitigación bajo el esquema planteado por la SENPLADES.

1.4.4. Ley de gestión ambiental

En el Título V DE LA INFORMACIÓN Y VIGILANCIA AMBIENTAL, establece el Art. 39.- Las instituciones encargadas de la administración de los recursos naturales, control de la contaminación ambiental y protección del medio ambiental, establecerán con participación social, programas de monitoreo del estado ambiental en las áreas de su competencia; esos datos serán remitidos al Ministerio del ramo para su sistematización; tal información será pública.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. Caracterización del área de estudio

A continuación, se presenta la ubicación geográfica y descripción del área de estudio donde se llevará a cabo la elaboración del proyecto.

2.1.1. Ubicación Reserva Sabia Esperanza-Pimampiro

La Reserva Sabia Esperanza se localiza en la parroquia San Francisco de Sigsipamba del cantón San Pedro de Pimampiro, presenta una superficie de 1500 hectáreas. Limitando al sur con la provincia de Pichincha y al oeste con la provincia de Sucumbíos. Presenta un clima Ecuatorial de Alta Montaña a la altura de 2.440 m.s.n.m y 3.960 m.s.n.m, su precipitación desde los 750 mm hasta los 1.500 mm y su temperatura fluctúa entre los 6°C y 11° C (MAGAP, 2012). El área es de administración privada y cuenta con ecosistemas nativos.



Figura 1. Ubicación del área de investigación

2.2. Métodos

La metodología de la presente investigación se desarrolló en tres fases: la fase de campo o caracterización y obtención de datos de las especies arbóreas y arbustivas presentes en bosque nublado. La fase de estimación de carbono a partir de ecuaciones alométricas. Finalmente, la fase de planteamiento de estrategias de conservación para bosques nublados. Se establece la siguiente metodología para el cumplimiento de los objetivos planteados:

Fase 1. Caracterización y obtención de datos de las especies arbóreas y arbustivas presentes en bosque nublado.

En esta fase se realizó la ubicación de los conglomerados de muestreo, para la caracterización de las especies vegetales en los estratos arbóreo y arbustivo, así como también la toma de datos de las especies.

a. Establecimiento de los conglomerados.

El establecimiento de conglomerados se realizó de acuerdo al Manual de Campo para la Evaluación Nacional Forestal (ENF), este documento fue elaborado por el Ministerio del Ambiente de Ecuador, conjuntamente con ONU.REDD+ y el aporte de Manejo Forestal ante el cambio climático” FAO (MAE, 2011). La metodología citada plantea realizar tres conglomerados, con tres parcelas de 30 x 30 m, distribuidas en forma de L; sin embargo, la zona de estudio presenta pendientes pronunciadas mayores a 70° y el establecimiento de las tres parcelas con dicha forma y extensión resulta riesgoso, por tal motivo en el presente estudio se modificó parcialmente la metodología, se disminuyó a dos parcelas por cada conglomerado y se aumentó el número de conglomerados a cinco. Los cinco conglomerados constan de dos parcelas con dimensiones de 30 x 30 m cada uno, cuya separación entre ambas es de 40 m, como se observa en la Figura 2.

b. Parcelas principales

La parcela principal número uno se ubicó en dirección Noroeste, dentro de ella se midieron todos los árboles vivos, árboles muertos en pie y tocones mayores de 10 cm de DAP.

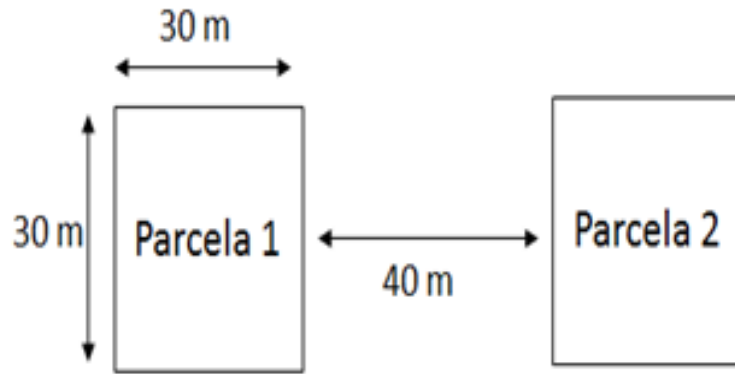


Figura 2. Distribución de las parcelas

c. Parcela anidada número uno

La parcela anidada número uno está ubicada al extremo sureste de la parcela principal, como lo muestra la figura 3. En esta parcela se miden los árboles vivos, árboles muertos en pie y tocones mayores a 5 cm y menores a 10 cm de DAP.

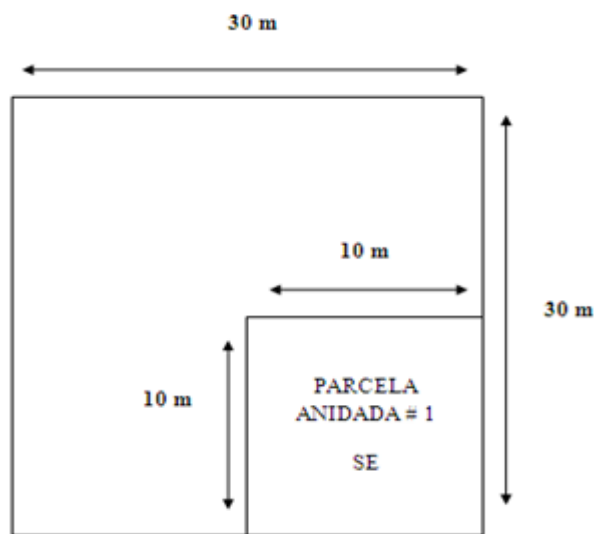


Figura 3. Parcela anidada número uno

d. Parcela anidada número dos

La segunda parcela anidada se basa en cuadrantes con dimensiones de 50 x 50 cm. Se ubican en las esquinas de la parcela principal, de manera que una se sobrepone dentro de la primera subparcela y otra en la esquina opuesta. En esta parcela se registra el peso de detritus no vivo y hojarasca menor a 5 cm.

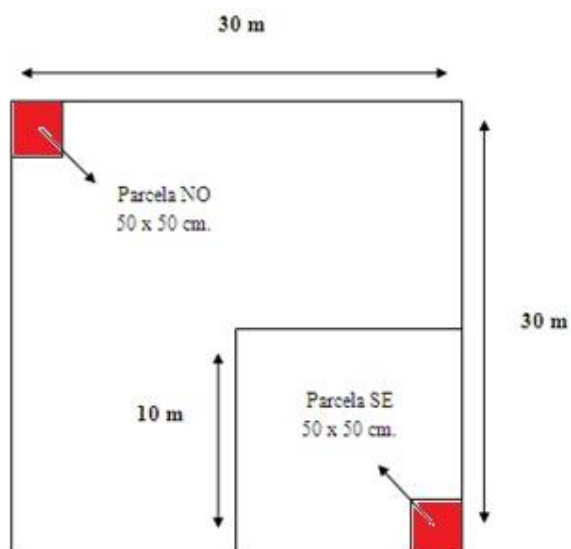


Figura 4. Parcela anidada número dos.

e. Obtención de muestras vegetales

Se colectaron dos grupos de muestras, el primero para la identificación de géneros de las especies y el segundo para los datos del cálculo de la materia seca.

Para la identificación de géneros, se recolectó una muestra botánica por especie arbórea, registrando los siguientes datos: la ubicación geográfica con la ayuda del GPS, clave numérica de la muestra para etiquetado, y se enfundó el material utilizando alcohol para el transporte al laboratorio y Xiloteca.

Para el cálculo de materia seca se procedió a la obtención de la biomasa fresca (BF); se utilizó el método semi-destructivo tomando una muestra de 2 Kg de los componentes (ramas secundarias, corteza y hojas) por cada familia, además, se colectó 2 Kg de especies herbáceas predominante. En cuanto al fuste se retiró una porción del mismo utilizando el taladro de Pressler para calcular el volumen y la densidad básica de cada especie.

f. Secado y prensado de las muestras vegetales

Para identificar géneros, se ubicó las muestras botánicas sobre papel periódico, de manera que se pueda apreciar el haz y el envés de las hojas, después se ubicaron en secciones de cartón y posteriormente se prensaron utilizando una prensadora tipo rejilla de madera y se colocaron en la secadora de la Central Maderera de la Universidad Técnica del Norte, por un periodo de cinco días a una temperatura de 65 °C.

Con las muestras deshidratadas, se realizó el montaje de las mismas utilizando cartulinas antiácidas formato A3, para lo cual se extrajo el exceso de hojas, procurando dejar el pecíolo con una sección del ápice, para que muestre la incisión de la hoja en el tallo o rama en caso de serlo, finalmente, se agrega la etiqueta en la esquina inferior derecha, con el formato propuesto por (Cascante, 2008).

Para el cálculo de la materia seca, los componentes (ramas secundarias, hojas, corteza y madera) fueron deshidratados utilizando la secadora de la Central Maderera y la estufa de la Xiloteca de la UTN, donde, se obtuvo el peso inicial y posteriormente se monitoreo la pérdida de humedad diariamente, cuando el peso fue constante se consideró como muestra deshidratada.

g. Cálculos para el inventario forestal

Se registró los siguientes parámetros de las especies arbóreas y arbustivas:

- diámetro a la altura del pecho (DAP)
- altura total del árbol (HT)
- diámetro de copa (DC)
- densidad básica

Lo anterior para todos los individuos que se encontraron en los conglomerados, después se procesaron los datos con las siguientes ecuaciones.

Diámetro a la altura del pecho (DAP)

El diámetro a la altura del pecho DAP se calculó a partir de la medición del perímetro tomada en el tronco del árbol a la altura de 1,30 m. El DAP representa una línea recta que pasa por el centro del círculo (BOLFOR et al., 2000). Se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 1

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

En donde:

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

P = Perímetro (1,30 m)

$$\pi = 3,14159226$$

Área basal

El área basal se calculó con la ecuación 2, esta representa la superficie de una sección transversal del tronco de un árbol a una determinada altura del suelo.

Ecuación 2

$$AB = \pi \left(\frac{DAP^2}{4} \right)$$

En donde:

AB = Área Basal

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

Densidad básica

Este parámetro se obtuvo con la aplicación de la ecuación 3 y 4, en donde se midió el largo de la sección con un pie de rey y el diámetro interno del taladro de Pressler (5 mm), por lo cual es considerado un cilindro perfecto, estos datos sirvieron para calcular el volumen verde de la muestra, y posteriormente, con el peso anhidro cuando la muestra esté deshidratada (Valencia & Vargas, 1997).

Ecuación 3

$$Vv = 3,1416D^2 \left(\frac{L}{4} \right)$$

En donde:

Vv = Volumen verde

D = Diámetro (5 mm)

L = Largo de la muestra (cm)

Ecuación 4

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

En donde:

Db = Densidad básica

Po = Peso anhidro

Vv = Volumen verde

Fase 2. Estimación de carbono a partir de ecuaciones alométricas

Las ecuaciones alométricas representan una metodología de cálculo matemático no destructiva, para evaluar la biomasa aérea y posteriormente obtener una estimación del carbono presente en la reserva, una vez que concluyó la toma de datos.

Se procede con la clasificación de las variables dentro de un modelo o ecuación, donde son consideradas las variables independientes o de medición en campo y tenemos las siguientes: el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT), diámetro de copa (DC) y las variables dependientes son los valores pertenecientes a la extracción de 2 kg de los componentes, tales como ramas secundarias, cáscara, hojas, y especies herbáceas dominantes.

Cálculo del volumen

El cálculo del volumen se realizó a partir de la muestra colectada con el taladro de Pressler y los datos de DAP y HT de los mismos individuos, se calculó el volumen individual de cada árbol como lo muestra la ecuación 5.

Ecuación 5

$$Vv = (\pi(DAP^2 \times HT)/4) \times 0,7$$

En donde:

Vv = Volumen promedio

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

HT = Altura total

Cálculo de biomasa

La biomasa se calculó multiplicando el volumen de las muestras, con la densidad básica, como lo muestra la siguiente relación.

Ecuación 6

$$B = Vv \times Db$$

En donde:

B = Biomasa total

Vv = Volumen promedio

Db = Densidad básica

Una vez obtenida la biomasa total de cada individuo por familia, se procedió a buscar las mejores combinaciones con los valores reales de DAP, HT y los valores transformados (Logaritmo natural, cuadrado y productos) respectivamente. Los datos individuales que presentaron mayor coeficiente de determinación R^2 sirvieron de base para establecer modelos alométricos, mediante los programas InfoStat 2017 (e), e IBM SPSS Statistics 20.

Se obtuvieron resultados como coeficientes de correlación (R), coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de determinación ajustado (Ra^2); los análisis de varianza (ADEVA), error típico de la estimación y la prueba de t de los coeficientes.

Los modelos que obtuvieron coeficientes de determinación ajustados mayores al 85% se les aplicaron la ecuación con los valores de DAP y HT. Posteriormente, se comparó los valores de biomasa total y biomasa estimada; finalmente, los modelos que se encontraron sobre el 85% de esta última comparación, fueron aceptados.

Extrapolación de datos

La extrapolación de los datos de la biomasa aérea y contenido de carbono se realizó por unidad de superficie en áreas homogéneas de toda la Reserva Sabia Esperanza.

Corrección radiométrica y atmosférica

Se realizó la conversión de número digital (ND) a Radiancia en la imagen satelital de Planet Scop y la conversión de radiancia a reflectancia, en el primer caso este método permite eliminar la radiancia recibida por el sensor, cuya causa es la

interacción de moléculas suspendidas en la atmosfera y en segundo lugar convertir la radiancia a valores de reflectividad de superficie, dando el valor adimensional, con la distinción de rangos de reflectancia que van del -1 a 1 Q dependiendo de su composición.

Cálculo de superficie en zonas homogéneas

En el software Arcgis se ubicó un shape de polígonos pertenecientes a las parcelas de muestreo sobre la imagen satelital de Planet Scop y se calculó los rangos de numero digital (DN), máximos y mínimos de cada parcela, estos rangos de (ND) fueron la base principal para procesar los datos en zonas homogéneas que presentaron similitud en el (DN) en el resto de la zona de estudio.

Cálculo del contenido de carbono

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

Validación de datos mediante análisis estadísticos.

Empleando los programas InfoStat y Past3, se procedió a realizar el análisis de parámetros estadísticos (media desviación estándar, error estándar de la media, coeficiente de varianza), de las variables dasométricas (DAP, área basal, altura total y volumen) y edáficas (contenido de carbono) en los cinco conglomerados establecidos. Simultáneamente, al conocer la estimación de carbono se realizó la prueba de “ t ” de Student a 1 y 5 % de probabilidad estadística para comparar los resultados de la producción de biomasa y el porcentaje de carbono capturado por las especies arbóreas del bosque nublado.

Fase 3. Elaboración de estrategias de conservación para bosques nublados.

Las estrategias de conservación engloban acciones de planificación, análisis de objetivos y perspectivas acogidas por los actores sociales involucrados, instaurando una serie de actividades para alcanzar un objetivo común. Un enfoque estratégico que garantice la sostenibilidad de los bosques con el fin de aportar en la mitigación del cambio climático y encaminado a un desarrollo sustentable (FAO, 2011).

Para definir las estrategias de conservación se utilizaron los resultados obtenidos de la caracterización de especies arbóreas y arbustivas, la estimación de contenido de carbono a partir de ecuaciones alométricas, así como también el empleo de un análisis de factores internos y externos que inciden en el problema o afectan al bosque nublado y a la comunidad La Floresta.

A continuación, se detallan los puntos estimados para la elaboración de las estrategias de conservación.

- a) Análisis de factores internos y externos que inciden en el problema.
- b) Análisis de factores estratégicos.
- c) Planteamiento de objetivos y metas de cada estrategia.
- d) Elaboración de proyectos y actividades a desarrollarse dentro de cada estrategia, alcance del proyecto, entidades encargadas y presupuesto.

2.3. Materiales y equipos

Tabla 1. Materiales de campo, equipos y softwares utilizados en la investigación

Materiales y herramientas de campo	Equipos	Software
Libreta de campo, lápiz, piola plástica, machete, estacas de madera, fundas de plástico, alcohol, navaja, taladro de Pressler, cinta adhesiva, etiquetas, flexómetro de 30 m, podadora aérea, podadora, clinómetro de altura, pie de rey, prensas de madera, secciones de cartón, cartulinas antiácidas y papel periódico.	Computador, GPS, calculadora, cámara fotográfica, balanza digital.	ArcGis 10.3, IDRISI, Excel, Word, Power point, InfoStat, FUSION, IBM SPSS Statistics 20.

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1. *Establecimiento de parcelas de muestreo*

En el área de bosque nublado de la Reserva Sabia Esperanza se distribuyeron cinco conglomerados de acuerdo con la metodología propuesta por MAE, (2011). Simultáneamente fueron ubicadas diez parcelas de acuerdo a condiciones topográficas accesibles, como se muestra en la Figura 5.

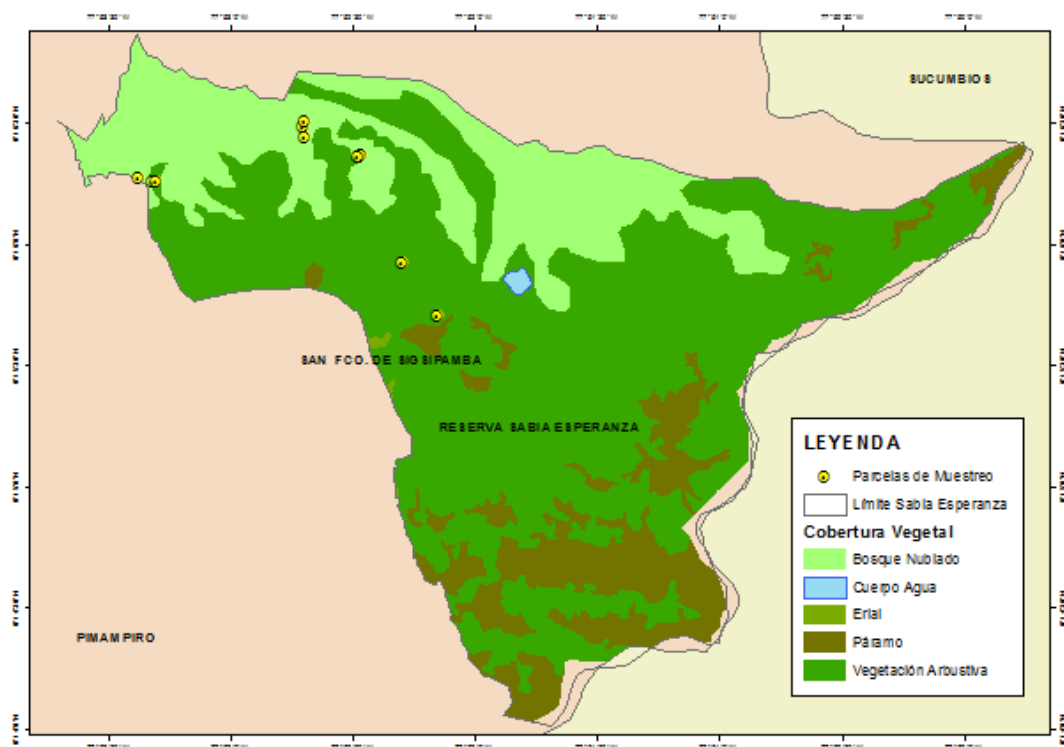


Figura 5. Distribución de parcelas de muestreo

3.1.2 *Inventario forestal*

La caracterización arbórea y arbustiva permitió conocer información de las variables dasométricas, y distribución diamétrica por cada individuo registrado, además, la relación entre el peso húmedo y el peso seco de las muestras, la dominancia de especies herbáceas y la densidad básica de cada familia.

3.1.2.1. Estructura arbórea

En las parcelas principales y las parcelas anidadas se encontraron 15 familias, totalizando quinientos trece individuos, de los cuales ciento noventa y cuatro registros pertenecen a la familia Melastomataceae con el género *Miconia*, representando el 37,8 %. En segundo lugar, la familia Betulaceae del género *Alnus*, con noventa y cuatro registros, esto representa el 18,3 %. En tercer puesto se encuentra la familia Araliaceae del género *Oreopanax*, con sesenta y tres presencias, cuyo porcentaje corresponde al 12,3 %. En cuanto a los géneros con menor frecuencia se encuentra la familia Rubiaceae con el género *Palicourea* y Boraginaceae con el género *Tournefolia* con un solo individuo registrado como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2. Frecuencia absoluta y relativa de las familias vegetales.

N	Familias	Géneros	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
1	Araliaceae	<i>Oreopanax</i>	63	12,28
2	Asteraceae	<i>Gynoxys</i>	2	0,39
3	Betulaceae	<i>Alnus</i>	94	18,32
4	Boraginaceae	<i>Tournefolia</i>	1	0,19
5	Chloranthaceae	<i>Hedyosmum</i>	15	2,92
6	Cunonaceae	<i>Weinmannia</i>	29	5,65
7	Dicksoniaceae	<i>Dicksonia sp.</i>	18	3,51
8	Ericaceae	<i>Macleania</i>	18	3,51
9	Laminaceae	<i>Aegiphila sp.</i>	11	2,14
10	Melastomataceae	<i>Miconia sp.</i>	194	37,82
11	Moraceae	<i>Ficus</i>	10	1,95
12	Oleaceae	<i>Olea sp.</i>	4	0,78
13	Poaceae	<i>Chusquea sp.</i>	38	7,41
14	Rubiaceae	<i>Palicourea</i>	1	0,19
15	Solanaceae	<i>Solanum</i>	15	2,92
Σ	15	15	513	100

3.1.2.2. Distribución de frecuencias

Se analizó la distribución de frecuencias de los parámetros de medición tales como Diámetro a la altura del pecho (DAP), Área basal (AB), Altura total (HT) y Diámetro de copa (DC) de los individuos de cada familia. En el DAP y AB

muestran que las especies están mayormente agrupadas en rangos menores formando una parábola de “J invertida” la cual es típica de bosques disetáneos, es decir, aproximadamente doscientos sesenta individuos poseen un DAP entre 0,07 m a 0,14 m y doscientos veinte individuos tienen una HT entre 4 m a 10 m, en cuanto al AB se estima que quinientos diez individuos se encuentran entre 0,01 m a 0,06 m. En referencia al DC se puede apreciar que doscientos veinticinco individuos se encuentran en el rango de 2 m a 3,3 m. Ver figura 6.

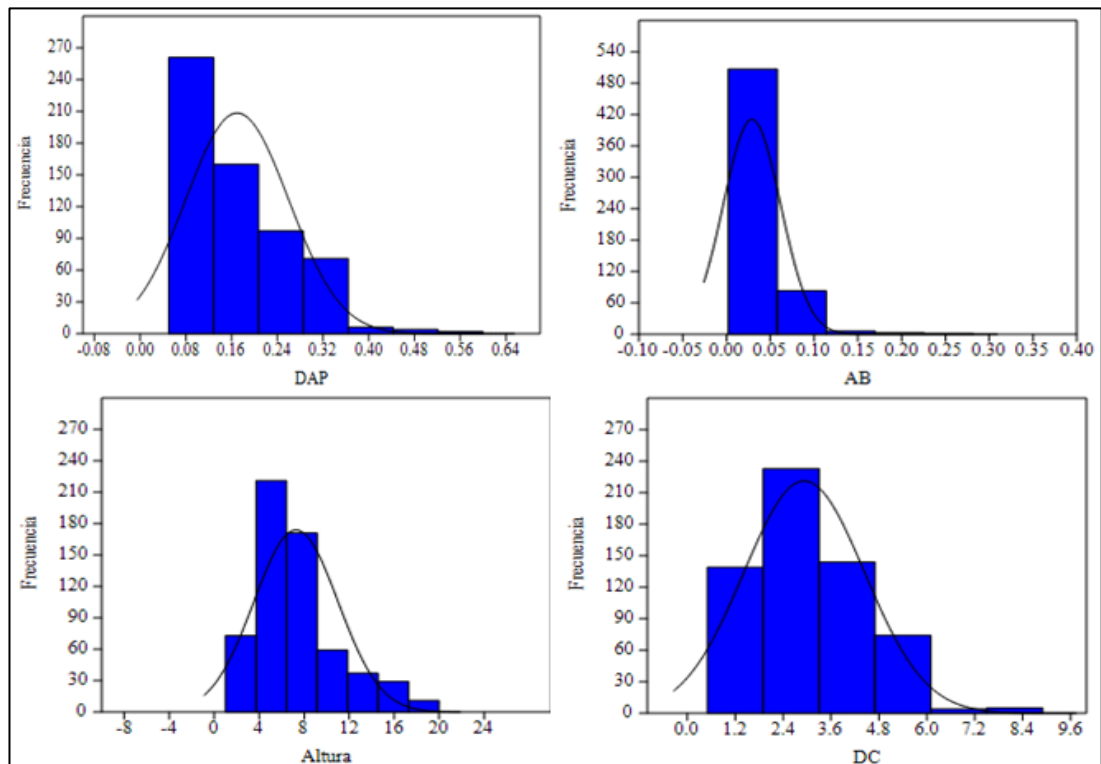


Figura 6. Distribución de frecuencias: diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal (AB), altura (HT), diámetro de copa (DC).

3.1.2.3. Curva hipsométrica de secado

En la siguiente figura se muestra el proceso de secado de los componentes (hojas, ramas secundarias y corteza) pertenecientes a las especies arbóreas de las familias muestreadas, las cuales para el estudio se estandarizó un peso húmedo común en 2000 g. Se realizó una comparación estadística entre las familias, en la cual se evidenció que existen diferencias significativas para las familias Betulaceae, Dicksoniaceae, Ericaceae y Moraceae con el resto de familias, este proceso permitió verificar la compatibilidad entre los datos estadísticos. Las familias que

no resultaron tener una significancia fueron agrupadas según el porcentaje de humedad como se muestra en las Figuras 6, 7 y 8.

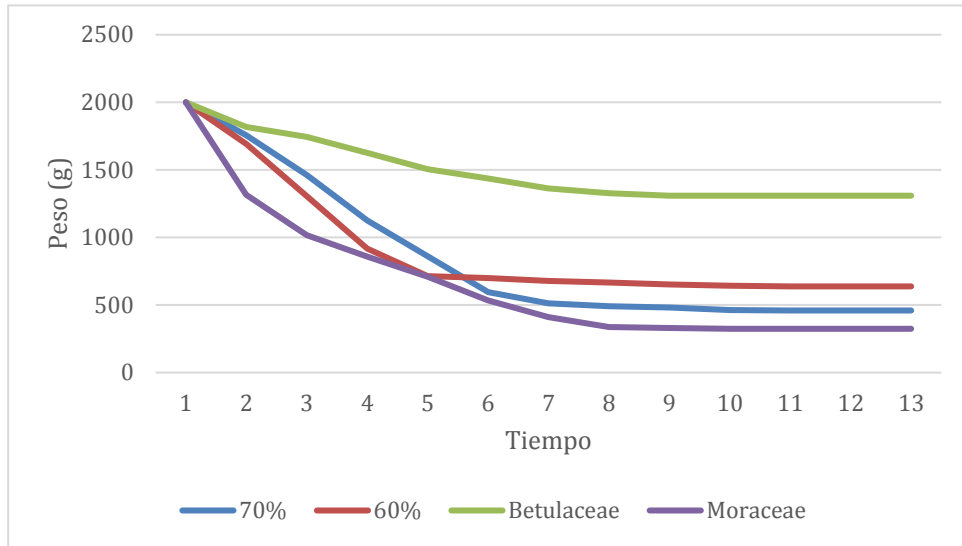


Figura 7. Curva hipsométrica de secado del componente hojas

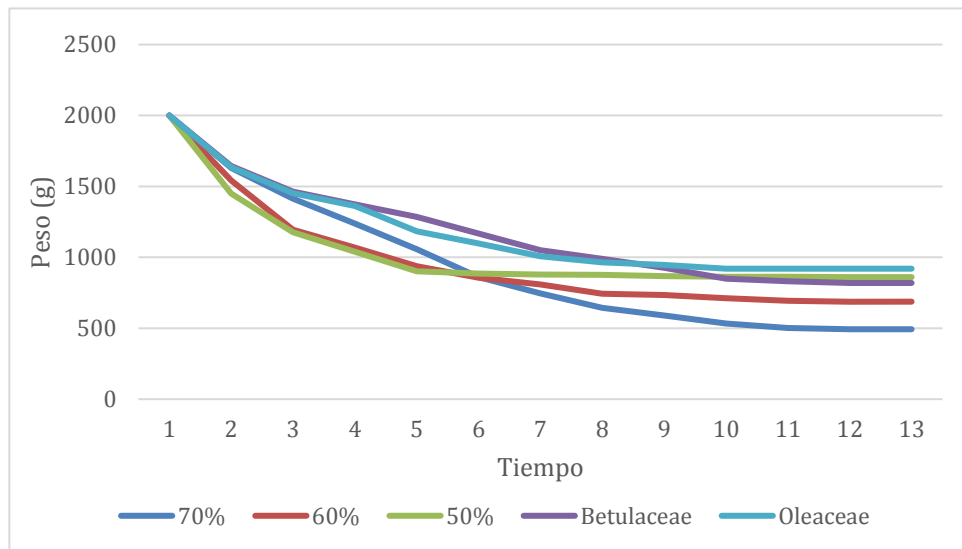


Figura 8. Curva hipsométrica de secado del componente ramas secundarias

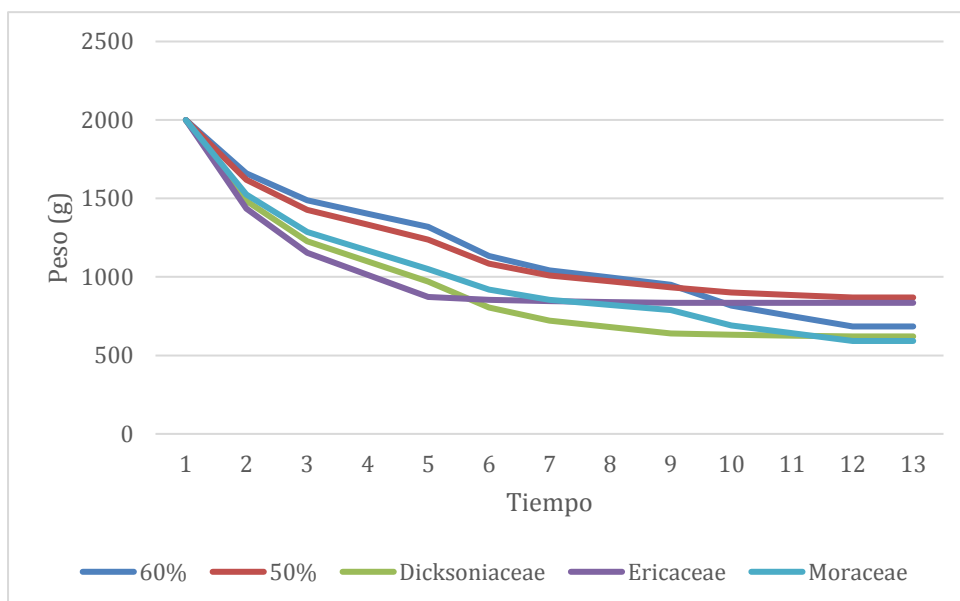


Figura 9. Curva hipsométrica de secado del componente corteza

3.1.2.4. Densidad básica

El valor promedio de la densidad básica que se obtuvo fue de 469,2 kg/m³, el valor máximo fue de 620,6 kg/m³ y el mínimo de 74,1 kg/m³, pertenecientes a las familias Araliaceae con el género *Oreopanax* y Dicksoniaceae con el género *Dicksonia* respectivamente. La tabla 3 muestra en resumen los datos obtenidos.

Tabla 3. Densidad básica y biomasa total.

Familia	Género	Densidad Básica kg/m ³	Biomasa total kg
Araliaceae	<i>Oreopanax</i>	620,6	30,52
Asteraceae	<i>Gynoxys</i>	565,9	28,27
Betulaceae	<i>Alnus</i>	411,6	220,40
Boraginaceae	<i>Tournefolia</i>	500,0	5,62
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum</i>	541,1	26,14
Cunonaceae	<i>Weinmannia</i>	590,8	30,74
Dicksoniaceae	<i>Dicksonia sp.</i>	74,1	1,61
Ericaceae	<i>Macleania</i>	573,0	23,07
Laminaceae	<i>Aegiphila sp.</i>	519,9	90,17
Melastomataceae	<i>Miconia sp.</i>	422,3	19,06
Moraceae	<i>Ficus</i>	603,9	212,83
Oleaceae	<i>Olea sp.</i>	460,2	35,29
Poaceae	<i>Chusquea sp.</i>	81,5	0,58
Rubiaceae	<i>Palicourea</i>	605,4	27,73
Solanaceae	<i>Solanum</i>	468,0	38,65

3.1.2.5. Biomasa total

En la columna de biomasa total por familia se obtuvo el valor máximo de 220,40 kg perteneciente a la familia Betulaceae con el género *Alnus*, seguido por la familia Moraceae con el género *Ficus* con 212,83 kg, el valor mínimo fue para la familia Poaceae con el género *Chusquea sp* con 0,58 kg; todos los datos están disponibles en la tabla 3.

3.1.3. Estimación de biomasa a partir de ecuaciones alométricas

En la tabla 4 se muestra cuatro modelos alométricos generados para biomasa y seis parámetros de comparación. De los cuatro modelos generados se consideró el de mayor porcentaje para el coeficiente de determinación (R^2) para gráfico de distribución y los siguientes resultados procesados en el programa Statistics son: el número más cercano a cero en la sumatoria de la desviación del error estándar, los mayores porcentajes en el coeficiente de correlación (R), coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado (Ra^2) y el porcentaje de humedad. De ellas la segunda ecuación presenta mayor ajuste en los criterios antes mencionados.

Tabla 4. Ecuaciones alométricas generadas para la predicción de biomasa aérea medida en el bosque nublado de la Reserva Sabia Esperanza Imbabura - Ecuador.

No	Ecuación	R^2 gráfico	Σ desv. error est.	R	R^2	Ra^2	Porcentaje humedad
1	$-51,592 - 368,546DAP^2$	0,943	8,177	0,971	0,944	0,939	85,714
2	$46,512 + 478,207DAP(LN(DAP \times HT))$	0,945	0,179	0,975	0,950	0,946	85,714
3	$-24,952 - 70,415(DAP \times HT)$	0,926	1,015	0,962	0,926	0,919	85,714
4	$8,635 + 212,876(DAP^2 \times HT)$	0,909	-1,520	0,954	0,910	0,903	85,714

Ecuación 7

$$Bt = 46,512 + 478,207DAP(LN(DAP \times HT))$$

Donde:

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

HT = Altura total

LN= Logaritmo natural

3.1.3.1. Estimación de biomasa y carbono a partir de ecuaciones alométricas

En la Tabla 5 se muestra los resultados de la estimación de biomasa aérea y contenido de carbono en cada parcela y en zonas homogéneas con su respectiva superficie, se estimó que existen un total de 62616,67 Tn / zonas homogéneas de biomasa aérea, en cuanto al contenido de carbono presenta un total de 31308,33 Tn / zonas homogéneas.

Tabla 5. Biomasa aérea por parcela, biomasa aérea y contenido de carbono en áreas homogéneas, superficie, porcentaje.

Parcela	Biomasa (Tn ha ⁻¹)	Biomasa (Tn/ zonas homogéneas)	Contenido Carbono (Tn ha ⁻¹)	Contenido Carbono (Tn/ zonas homogéneas)	Área (zonas homogéneas) (ha)
1	438,81	105,31	219,40	52,66	2,40
2	765,60	9491,09	382,80	4745,54	123,97
3	442,78	1382,37	221,39	691,18	31,22
4	268,85	4195,35	134,42	2097,67	156,05
5	298,41	1030,71	149,20	515,35	34,54
6	427,01	798,93	213,50	399,47	18,71
7	465,40	6578,47	232,70	3289,24	141,35
8	511,78	7637,26	255,89	3818,63	149,23
9	757,81	24333,28	378,90	12166,64	321,10
10	490,55	7063,90	245,27	3531,95	144,00
x	486,70		243,35		
Σ		62616,67		31308,33	1122,57

3.1.4. Estrategias de conservación de bosques nublados

La elaboración de estrategias de conservación abarca proyectos y actividades planteadas para ayudar a la mitigación del cambio climático y la protección de los bosques nublados. A partir de los resultados obtenidos de la evaluación del contenido de carbono fijado, se plantean tres estrategias con sus respectivos proyectos, actividades y presupuestos estimados, los cuales han sido considerados como referencia en varios documentos para la realización de planes y propuestas de conservación de bosques protectores y áreas de reserva como se indica en el (PDOT San Pedro de Pimampiro, 2014).

Estrategia 1: Conservación del bosque nublado como sumidero de carbono.

Esta estrategia está enfocada a mantener el potencial de captación de carbono por parte del bosque nublado, promoviendo el manejo y protección de este ecosistema del cual la población se favorece de bienes y servicios ambientales.

Proyecto: Protección participativa del bosque nublado.

Meta: Empoderar la protección del bosque nublado a los pobladores de la zona de influencia de la reserva.

Objetivo general - Conservación del bosque nublado como sumidero.

Implementar programas de protección del bosque nublado de la reserva y zona de transición.

Objetivos específicos

- Gestionar la creación de un fondo local para la protección del bosque nublado, con la participación de todos los actores sociales e instituciones públicas y privadas.
- Concientizar a la comunidad acerca de los efectos negativos de la deforestación y degradación de los bosques.
- Promover la reforestación participativa de zonas que han sido intervenidas.

A continuación, en la Tabla 6 se detalla el proyecto con sus respectivas actividades.

Tabla 6. Actividades del proyecto de protección participativa del bosque nublado.

Proyecto	Objetivos Específicos	Actividades	Alcance	Tiempo Meses	Responsables y Actores	Medios de verificación	Presupuesto Estimado USD
Protección participativa del bosque nublado.	Gestionar la creación de un fondo local para la protección del bosque nublado, con la participación de todos los actores sociales e instituciones públicas y privadas.	Consolidación de organizaciones que apoyen a la protección del área y al desarrollo de la comunidad.	Proteger las áreas boscosas de la reserva Savia Esperanza y de la comunidad La Floresta, disminuyendo la deforestación y el cambio climático.	4	Ministerio del Ambiente. GAD M-San Pedro de Pimampiro. GAD P-San Francisco de Sigsipamba. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros. UTN	Documentos de gestión del proceso.	7.000
	Concientizar a la comunidad acerca de los efectos negativos de la deforestación y degradación de los bosques.	Taller de capacitación acerca de la deforestación y degradación de los bosques. Entrega de material informativo con temas establecidos.		2	GAD M-San Pedro de Pimampiro. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros. UTN	Lista de asistencia de los pobladores. Informe y registro fotográfico.	7.500
	Promover la reforestación participativa de zonas que han sido intervenidas.	Estudio previo de las plantas nativas idóneas para la reforestación. Capacitación a los comuneros sobre las plantas nativas consideradas aptas para la reforestación. Implementación de vivero forestal para producción de especies nativas. Entrega de plántulas, marcación y apertura de hoyos. Reforestación con especies nativas, en zonas intervenidas. Firma de convenios entre actores sociales para el seguimiento de las especies arbóreas.		12	GAD M-San Pedro de Pimampiro. GAD P-San Francisco de Sigsipamba. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros.	Informe y registro fotográfico de las actividades realizadas en la reforestación, así como también el seguimiento de las especies plantadas.	15.000
TOTAL							29.500

Estrategia 2: Educación ambiental

Esta estrategia pretende capacitar constantemente a los dirigentes, esencialmente a niños y jóvenes de la comunidad La Floresta, a través de talleres con temáticas ambientales enfocados en la protección del bosque nublado y su importancia ecológica como sumidero de carbono.

Proyecto: Educación ambiental para el manejo adecuado de los recursos naturales.

Este proyecto busca transferir conocimientos de orden técnico para concientizar en la preservación de la reserva Sabia Esperanza y la comunidad La Floresta, reducir las malas prácticas ambientales y fomentar el respeto y cuidado hacia la naturaleza.

Meta: Educar a la población sobre la importancia de preservar el bosque nublado para garantizar la mitigación del carbono atmosférico.

Objetivo general - Educación ambiental

Implementar actividades de educación ambiental en la comunidad La Floresta como herramienta para concientizar a la población.

Objetivos específicos

- Contextualizar los resultados de la investigación para que sirva de fuente curricular en el proceso de capacitación a la comunidad La Floresta.
- Concientizar a la comunidad sobre la importancia ecológica y los servicios ecosistémicos del bosque nublado.
- Fomentar el interés para el cuidado del ambiente y la protección de los bosques nublados.

Las actividades a desarrollarse en este proyecto se especifican a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Actividades del proyecto de educación ambiental para el manejo adecuado de los recursos naturales.

Proyecto	Objetivos Específicos	Actividades	Alcance	Tiempo Meses	Responsables y Actores	Medios de verificación	Presupuesto USD
Educación ambiental para el manejo adecuado de los recursos naturales	Contextualizar los resultados de la investigación para que sirva de fuente curricular en el proceso de capacitación a la comunidad La Floresta.	Publicación de la investigación a la comunidad La Floresta, resaltando la problemática y estrategias para protección del bosque nublado. Entrega de material informativo con temas establecidos.	Garantizar que tanto los administradores de la Reserva Savia Esperanza y la comunidad La Floresta obtengan conocimientos de los resultados de la investigación, la importancia del bosque nublado y la protección de los mismos, así como también el cuidado del ambiente.	1	GAD Municipal de San Pedro de Pimampiro. GAD Parroquial San Francisco de Sigsipamba. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros. UTN	Lista de asistencia de los pobladores. Informe y registro fotográfico.	10.000
	Concientizar a la comunidad sobre la importancia ecológica y los servicios ecosistémicos del bosque nublado.	Talleres de capacitación sobre la importancia ecológica del bosque como regulador de emisiones de GEI. Entrega de material informativo con temas establecidos.		2	GAD Municipal de San Pedro de Pimampiro. GAD Parroquial San Francisco de Sigsipamba. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros. UTN	Lista de asistencia de los pobladores. Informe y registro fotográfico.	10.000
	Fomentar el interés para el cuidado del ambiente y la protección de los bosques nublados.	Talleres de capacitación del manejo adecuado de los recursos naturales, tales como la tala ilegal de los bosques, cacería y avance de la frontera agrícola. Entrega de material informativo con temas establecidos.		3	GAD Municipal de San Pedro de Pimampiro. GAD Parroquial San Francisco de Sigsipamba. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros. UTN	Lista de asistencia de los pobladores. Informe y registro fotográfico.	10.000
TOTAL							30.000

Estrategia 3: Proyectos de desarrollo local

La estrategia Proyectos de desarrollo local pretende que la comunidad obtenga beneficios de los bienes y servicios ambientales que provee el bosque nublado de manera razonable, a través de actividades de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Proyecto: Acciones comunitarias de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Este proyecto busca impulsar el desarrollo sostenible en la reserva Sabia Esperanza y la comunidad La Floresta, a través de acciones que sean de beneficio ambiental, económico y social, de esta manera disminuir las malas prácticas ambientales, las mismas que están asociadas al cambio de uso de suelo, interfiriendo en la mitigación de carbono atmosférico.

Meta: Incentivar a la comunidad a desarrollar actividades de aprovechamiento sostenible.

Objetivo general - Proyectos de desarrollo local

Desarrollar acciones de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales con el fin de generar ingresos locales por servicios ambientales, de esta manera fomentar iniciativas de protección y manejo responsable de los bosques nublados.

Objetivos específicos

- Incentivar a la comunidad a desarrollar acciones de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
- Impulsar prácticas agroforestales en la comunidad.
- Impulsar el turismo ecológico y científico.
- Obtener réditos del carbono almacenado en el bosque nublado.

Las actividades se detallan a continuación en la Tabla 8

Tabla 8. Actividades del proyecto acciones comunitarias de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales

Proyecto	Objetivos Específicos	Actividades	Alcance	Tiempo Meses	Responsables y Actores	Medios de verificación	Presupuesto USD
Acciones comunitarias de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.	Incentivar a la comunidad a desarrollar acciones de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.	Fortalecer las estructuras interinstitucionales, facilitando alianzas estratégicas. Capacitación con temas relacionados al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales por parte de la comunidad para generar ingresos adicionales. Desarrollar propuestas de servicios ambientales. Entrega de material informativo con temas establecidos.	Garantizar un equilibrio ecológico, social y económico para la Reserva Sabia Esperanza y la comunidad La Floresta, de tal manera se proteja los recursos naturales y se obtengan ingresos adicionales para los pobladores.	3	Ministerio del Ambiente GAD M-San Pedro de Pimampiro. GAD P-San Francisco de Sigsipamba. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros. UTN	Lista de asistencia de los pobladores. Informe y registro fotográfico.	10.000
	Impulsar prácticas agroforestales en la comunidad.	Taller de capacitación con temas relacionados a la agroecología, técnicas agroecológicas, cambio de uso de suelo y rotación de cultivos. Desarrollar un modelo agroecológico en una finca de la localidad. Seguimiento al proyecto agroecológico.		6	GAD M-San Pedro de Pimampiro. GAD P-San Francisco de Sigsipamba. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros. UTN	Lista de asistencia de los pobladores. Informe y registro fotográfico.	20.000
	Impulsar el turismo ecológico y científico.	Socialización a la comunidad acerca del turismo ecológico y científico. Estudio de factibilidad para establecer un modelo ecoturístico, así como también un análisis de las zonas o puntos de interés turístico en la reserva y zonas aledañas. Establecimiento de un modelo ecoturístico en el lugar. Promocionar el lugar como un área de turismo ecológico y científico. Fortalecer vínculos interinstitucionales para la investigación y aporte científico en la zona		6	GAD M-San Pedro de Pimampiro. GAD P-San Francisco de Sigsipamba. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros. UTN	Lista de asistencia de los pobladores. Informe y registro fotográfico.	30.000
	Obtener réditos del carbono almacenado en el bosque nublado.	Incluir el potencial de captura de carbono del bosque nublado al programa de Mecanismo Ecuatoriano de Desarrollo Limpio (Fondo de carbono para el desarrollo comunitario). Promocionar el porcentaje estimado de carbono en el comercio internacional.		6	Ministerio del Ambiente GAD Municipal de San Pedro de Pimampiro. GAD Parroquial San Francisco de Sigsipamba. Autoridades administrativas de la reserva. Comuneros. UTN	Documentos de gestión del proceso.	20.000
TOTAL							80.000

3.2 Discusión

3.2.1 *Inventario forestal*

3.2.1.1. *Estructura arbórea*

La mayor frecuencia de individuos pertenecientes son las familias Melastomataceae, seguidamente por Betulaceae y Araliaceae, lo cual tiene concordancia con el Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental, donde, se menciona que en los bosques principalmente se encuentran individuos pertenecientes a las familias Melastomataceae con el género *Miconia*, Solanaceae, Myrsinaceae, Aquifoliaceae, Araliaceae, Rubiaceae. Además, resalta a la familia Betulaceae y Araliaceae, por ser especies de sucesión temprana, pues, pueden formar bosques mono específicos en áreas de derrumbes como se evidenció en la zona de estudio (MAE, 2012). Según, (Caranqui, 2015). También se evidencia la dominancia de la familia Melastomataceae con el género *Miconia*, Asteraceae y Solanaceae, sin embargo, no manifiesta la presencia de las familias Araliaceae y Betulaceae; se presume que la diferencia entre los dos estudios radica en la altitud, puesto que dicho estudio se realizó a 3400 msnm y 3600 msnm en la provincia de Chimborazo y la zona de estudio de la presente investigación se encuentra en un rango de 2228 msnm a 3080 msnm.

3.2.1.2. *Distribución de frecuencias*

La tendencia de la distribución de frecuencias de los parámetros de medición varía dependiendo las condiciones topográficas, climáticas y edafológicas de cada lugar, sin embargo, (Jørgensen & Bascopé, 2005), mencionan un estudio realizado en un bosque montano húmedo, a una altitud de entre 1850 msnm a 2023 msnm. En el parámetro de diámetro a la altura del pecho (DAP) el 69,7 % de individuos se encuentra en la clase diamétrica I, con rangos que van desde 0,1 m – 0,19 m, con una distribución gráfica en forma de "J invertida"; este resultado coincide con la distribución gráfica de la presente investigación pues el 50,7 % de individuos se encuentran en rangos de 0,07 m – 0,14 m, esta tendencia es típica de bosques heterogéneos y disetáneos. Los individuos restantes presentan una relación inversamente proporcional, es decir a medida que aumenta el DAP y AB reduce el

número de individuos. En cuanto al parámetro de altura total (HT) el mismo estudio presenta el 76,2 % de individuos dentro de la clase I y II, con rangos que van del 5 m – 14,5 m, En cuanto al parámetro de diámetro de copa (DC) manifiesta que posee un diámetro de copa promedio de 3,6 m, esto concuerda con el porcentaje de 43,9 % de individuos que se encuentran en el rango de 2 m – 3,3m, obtenidos en esta investigación.

3.2.1.3. Densidad básica

En la Tabla 9, se contrastó la densidad básica por genero obtenida en este estudio con la densidad básica reportada por International Tropical Timber Organization (ITTO, 2018), Global Database of Wood Density (BGDM, 2014), Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2014). Como se puede apreciar existen diferencias que van de 0,05 g/m³ a 0,07 g/m³, las variaciones de la densidad básica principalmente se le atribuye a la de la edad de los árboles muestreados ya que hay presencia de árboles adultos jóvenes y adultos viejos en donde no se puede distinguir la diferencia. Finalmente, para los géneros *Chusquea*, *Dicksonia*, *Macleania* y *Olea* no se encontró reportes en la literatura para densidad.

Tabla 9. Comparación de densidades básicas

Género	Densidad Básica (g/m ³)	Densidad Básica Literatura	Fuente
<i>Oreopanax</i>	0,62	0,64	MAE
<i>Gynoxys</i>	0,57	0,64	BGDM
<i>Alnus</i>	0,41	0,35	ITTO
<i>Tournefolia</i>	0,50	0,47	BGDM
<i>Hedyosmum</i>	0,54	0,61	MAE
<i>Weinmannia</i>	0,59	0,54	BGDM
<i>Aegiphila sp.</i>	0,52	0,55	BGDM
<i>Miconia sp.</i>	0,42	0,56	BGDM
<i>Ficus</i>	0,60	0,63	MAE
<i>Palicourea</i>	0,61	0,56	BGDM
<i>Solanum</i>	0,47	0,42	BGDM

3.2.2 Estimación de biomasa a partir de ecuaciones alométricas

Al analizar los modelos alométricos existentes para predecir la biomasa aérea en bosques, existe una amplia gama de ejemplos convencionales desarrollados para distintos tipos de bosques, de los cuales se ha tomado varios ejemplos de investigaciones realizadas en bosques naturales, estos modelos alométricos consideran principalmente las variables de DAP, HT y valores transformados de (Logaritmo natural y exponenciales). El modelo alométrico resultante para la evaluación de la biomasa aérea en este estudio presentó mejor ajuste en el coeficiente de determinación (R^2), comparado con los modelos de otros autores en bosques naturales.

3.2.2.1. Biomasa aérea

Tabla 10. Modelos alométricos para estimar la biomasa

Autor	Ecuación	Tipo de bosque	R^2
IPCC (2005)	$B = \text{EXP}[-2,289+2,649*\ln(\text{DAP})-0,021*\ln(\text{DAP}^2)]$		0,33
Chave et al. (2014)	$\ln B = [-2,19+2,54*\ln(\text{DAP})]$	Pantrópico, incluye selvas secas y húmedas y un factor climático (E). (n = 4004)	0,91
Ramírez (2017)	$BE = \text{EXP}(-4,1392+0,9900 \ln(\text{D}2\text{H})+1,2268\text{Pw})$	Selva mediana subcaducifolia	0,88

BE= biomasa estimada, DAP= diámetro a la altura del pecho, Pw= densidad básica, Ht= altura total

Al comparar las estimaciones del modelo construido con los modelos citados, se demuestra que existe una mejor estimación, ya que al aplicar dichos modelos se tiende a sub estimar y sobre estimar la cantidad de biomasa por familias, como lo muestra la Figura 10. El modelo citado que mostró mayor similitud en R^2 con el modelo construido para bosque nublado fue el de Chave et al. (2014) (Tabla 10).

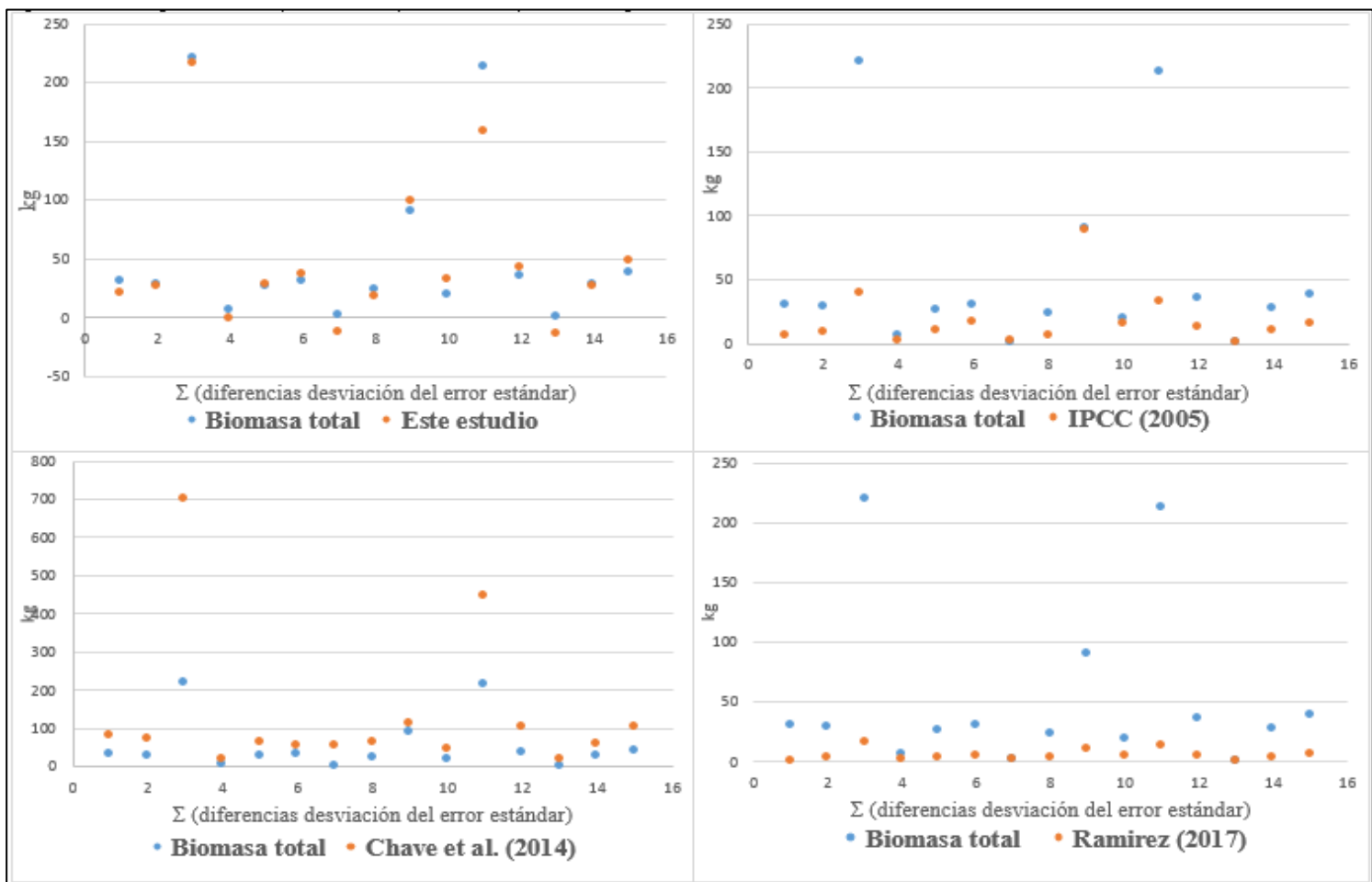


Figura 10. Biomasa observada vs biomasa estimada por árbol

3.2.3 Estimación de carbono

El valor obtenido de la estimación de carbono fijo en el bosque nublado de la Reserva Sabia Esperanza presenta datos menores a los reportados por (Lapeyre, Alegre, & Arévalo, 2004), este estudio fue realizado en el bosque húmedo tropical de San Martín - Perú, a su vez menciona que la acumulación de carbono es mayor en ecosistemas de mayor crecimiento o permanentes, estima que existen 300 (Tn C*ha⁻¹). A su vez (Álvarez et al., 2013), manifiesta que la acumulación de biomasa y carbono en los árboles no es uniforme y depende directamente de su crecimiento, sostiene que el valor del contenido de carbono en bosque montano es de 354 (Tn C*ha⁻¹). En comparación con el resultado de la presente investigación estos valores resultan superiores como lo muestra la Tabla 11.

Por otro lado, también se comparó con los resultados obtenidos del estudio citado por (Torres, Mena, & Álvarez, 2005), realizado en el Jardín Botánico del Pacífico - Mecana – Choco Colombia, en este documento se evaluó el contenido de carbono en distintas edades, se puede ratificar que, a mayor edad de los bosques, aumenta la capacidad de los árboles de almacenar dióxido de carbono de la atmósfera y depositarlo en su estructura, así lo se muestra los datos de árboles de doce, treinta y cuarenta años.

Tabla 11. Comparación de resultados de carbono fijo

Ubicación	Especificación	Altura	Carbono almacenado (Tn C*ha ⁻¹)	Autor
San Martín, Perú	Bosque Húmedo Tropical	1123	300	(Lapeyre, Alegre & Arévalo, 2004)
Sierra Norte de Oxaca, México	Bosque Montano	1950 - 2500	354	(Álvarez et al. 2013)
Jardín Botánico del Pacífico - Mecana – Choco Colombia	Bosque HT de 12 Bosque HT de 30 Bosque HT de 40	500	31,3 45,2 68,1	(Torres, Mena & Álvarez, 2017)
Este Estudio	Bosque nublado	2440 - 3960	243,4	(Collahuazo & Taicud, 2018)

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El género dominante de las especies arbóreas fue el género *Miconia*, seguido por los géneros *Alnus*, *Oreopanax* y *Weinmannia*. Además, se evidenció la dominancia de dos familias herbáceas, tales como la familia Poaceae y la Dryopteridaceae, en todas las parcelas de evaluación.
- El modelo alométrico construido para la evaluación de la biomasa aérea en el bosque nublado de la Reserva Sabia Esperanza presentó mejor ajuste en el coeficiente de determinación (R^2) comparado con otros modelos de otros autores en bosques naturales.
- La biomasa aérea total estimada fue de 62616,67 Tn / zonas homogéneas, mediante el factor de conversión propuesto por el IPCC se estimó 31308,33 Tn/ zonas homogéneas de carbono en el 72% de la Reserva Sabia Esperanza.
- Se plantearon tres propuestas de conservación para bosques nublados con el fin de proteger los bienes y servicios que estos proveen a la población y a su vez fomentar el manejo responsable de los recursos naturales.

4.2. Recomendaciones

- La presente investigación proporciona una línea base para evaluar las reservas de biomasa y carbono fijo almacenados en la parte aérea de bosques nublados.
- Se recomienda realizar inventarios forestales en diferentes épocas principalmente en época de floración, con la finalidad de llegar a identificar las especies específicas.

- Difundir los resultados obtenidos de biomasa y contenido de carbono en bosque nublado para el mercado de créditos de carbono.
- Evaluar la efectividad de las estrategias de conservación propuestas, para mejorar la eficiencia en su campo de aplicación.

REFERENCIAS

- Acosta, J. (2008). *Cuantificación de la captura de carbono por la biomasa aérea de aliso (alnus jorullensis h.b.k.) en dos arreglos agroforestales de la Granja Experimental Botana Universidad de Nariño, Municipio de Pasto, departamento Nariño (tesis de maestría).*
- Agudelo, C. (2010). *Energía de la Biomasa*. Obtenido de Energías alternativas: <http://energialternativaitm.blm/2010/11/referencias-bibliograficas.html>
- Álvarez , G., García, N., Krasilnikov, P., & García, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 171-180.
- Álvarez, G. (2008). *Modelos Alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia*. Obtenido de Tesis de maestría: <http://orton.catie.ac.ar/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Barrantes, G., Chaves, H., & Vinuesa, M. (2010). Corporación de Manejo Forestal Sustentable. *El Bosque en el Ecuador, una visión transformada para el desarrollo y la conservación*.
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM*. Obtenido de INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO. : <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico>
- BGDM. (2014). *Global Database of Wood Density*. Obtenido de <http://eol.org/collections/96600>
- Bravo, N. (2017). TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER L1T y MODIS.
- Chávez, E., Paz, F., & Bolaños, M. (2017). Estimación de biomasa y cobertura aérea usando radiometría e imágenes digitales a nivel de campo en pastizales y matorrales. *Terra Latinoamericana*, 247-257.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial*. Ediciones RIALP.S.A.
- CIRAD, & FAO. (2012). Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement & Organización de las Naciones

Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles del trabajo de campo a la predicción.*

COMAFORS. (2007). Corporación de Manejo Forestal Sustentable. *Planificación Estratégica de Bosques Nativos en el Ecuador.*

FAO. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Las emisiones de carbono de los bosques disminuyen un 25% entre 2001 y 2015.*

Fernández, J. (2015). *Energía de la biomasa.* Obtenido de Fenercom : <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-biomasa.pdf>

FOCER. (2002). *Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central.* Obtenido de Biomasa Nica-Bio: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/BUNCA2002Biomasa.pdf>

González, M. (2008). *Estimación de biomasa aérea.* Obtenido de CATIE : <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A2922E/A2922E.PDF>

González, F., Ruiz, J., & Acosta, F. (2013). Programa para el desarrollo de redes tecnológicas y de aplicación de datos de teledetección en África Occidental. *Tutorial de Teledetección Espacial.*

IPCC. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry.* Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html

ITTO. (2018). *International Tropical Timber Organization.* Obtenido de <http://www.tropicaltimber.info/>

Jørgensen, P., & Bascopé, F. (12 de 2005). Ecología en Bolivia. *Caracterización de un bosque montano húmedo: Yungas, La Paz.* La Paz, Bolivia.

Landázuri. (2013). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. *El mercado de carbono en el Ecuador (Tesis de Pregrado).*

Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2004). DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO DE LA BIOMASA AÉREA, EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN SAN MARTÍN, PERU. *Ecología Aplicada*, 35-44.

- López, F. (2010). *Biomasa*. Obtenido de Economía de la energía: <http://www.economiadelaenergia.com/2010/11/biomasa-que-es-la-biomasa/>
- MAE. (2011). Ministerio del Ambiente Ecuatoriano. *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador ENCC 2012-2025*. Quito, Ecuador.
- MAE. (2012). Ministerio del Ambiente Ecuatoriano. *Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental, Quito-Ecuador*.
- MAE. (2014). *PROPIEDADES ANATÓMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE 93 ESPECIES FORESTALES*. Quito.
- MAGAP. (2012). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador. *Tipos de Clima*. Obtenido de Tipos de Clima.
- Orellana, O. (2012). *Estimación del carbono almacenado en la zona núcleo del parque nacional montaña de Celaque (PNMC) Honduras, utilizando la teledetección y sistemas de información geográfica (Tesis de pregrado)*.
- PDOT San Pedro de Pimampiro. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de San Pedro de Pimampiro. *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción*. Roma.
- PLANET. (2016). *Planet imagery product specification: Planetscope & Rapideye*. Obtenido de https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/1610.06_Spec%20Sheet_Combined_Imagery_Product_Letter_ENGv1.pdf
- Ramírez, G., Dupuy, J. M., Ramírez, L., & Solorio, F. (2017). Evaluación de ecuaciones alométricas de biomasa epigea en una selva mediana subcaducifolia de Yucatán. *Madera y bosques*, 23(2), 163-179. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2017.2321452>
- Sánchez, A. (2016). *Estimación del Carbono Orgánico sobre el Suelo, a partir de Imágenes Satelitales LANDSAT 7 Etm+, en el bosque de ceja andina de la comunidad Indígena Huangras - Achupallas - Chimborazo (Tesis de pregrado)*.
- SENPLADES. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Quito.

- Sierra. (1999). Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. *Quito:Proyecto INFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia.*
- Torres, J., Mena, V., & Álvarez, E. (2005). Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*. doi:10.18636/bioneotropical.v6i1.197
- Valencia, S., & Vargas, J. (1997). Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. . En *Madera y Bosques* (págs. 81-87).

ANEXOS

Anexo A. Tablas

Tabla 1. Matriz de toma de datos en campo

Fecha:				
Número de parcela:				
Número de árbol	Familia	DAP	Altura total	Diámetro de copa
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Tabla 2. Matriz de toma de datos en laboratorio

Fecha:						
Familia:						
Componente	Peso verde (gr)	Pesaje 1 (gr)	Pesaje 2 (gr)	Pesaje 3 (gr)	Pesaje 4 (gr)	Pesaje 5 (gr)
Ramas						
Hojas						
Corteza						
Madera						

Tabla 3. Resultado total del inventario forestal

Número	Familia	DAP (m)	Altura (m)	Densidad Básica (kg/m ³)	Vv (m ³)
1	Araliaceae	0,13	5	620,6	0,05
2	Asteraceae	0,13	5,6	565,9	0,05
3	Betulaceae	0,31	10	411,6	0,54
4	Boraginaceae	0,08	3,5	500,0	0,01
5	Chloranthaceae	0,12	6	541,1	0,05
6	Cunonaceae	0,11	7,2	590,8	0,05
7	Dicksoniaceae	0,11	3	74,1	0,02
8	Ericaceae	0,12	5	573,0	0,04
9	Laminaceae	0,15	13,5	519,9	0,17
10	Melastomataceae	0,11	7	422,3	0,05
11	Moraceae	0,26	9,4	603,9	0,35
12	Oleaceae	0,15	6,5	460,2	0,08
13	Poaceae	0,07	2,4	81,5	0,01
14	Rubiaceae	0,12	6	605,4	0,05
15	Solanaceae	0,15	7	468,0	0,08

Tabla 4. Biomasa total y estimada

N	Biomasa total	Biomasa Test	BT - Btest
1	30,520	32,442	-1,922
2	28,273	25,937	2,336
3	220,397	243,593	-23,196
4	26,142	27,990	-1,847
5	30,739	35,996	-5,257
6	1,606	3,770	-2,164
7	23,067	23,997	-0,930
8	90,172	98,383	-8,211
9	19,057	24,180	-5,123
10	212,831	163,864	48,966
11	35,295	47,266	-11,971
12	0,577	-17,430	18,007
13	27,728	26,974	0,754
14	38,654	48,274	-9,621
Σ			-0,179
x	56,075	56,088	

Tabla 4. Combinaciones estadísticas por componentes

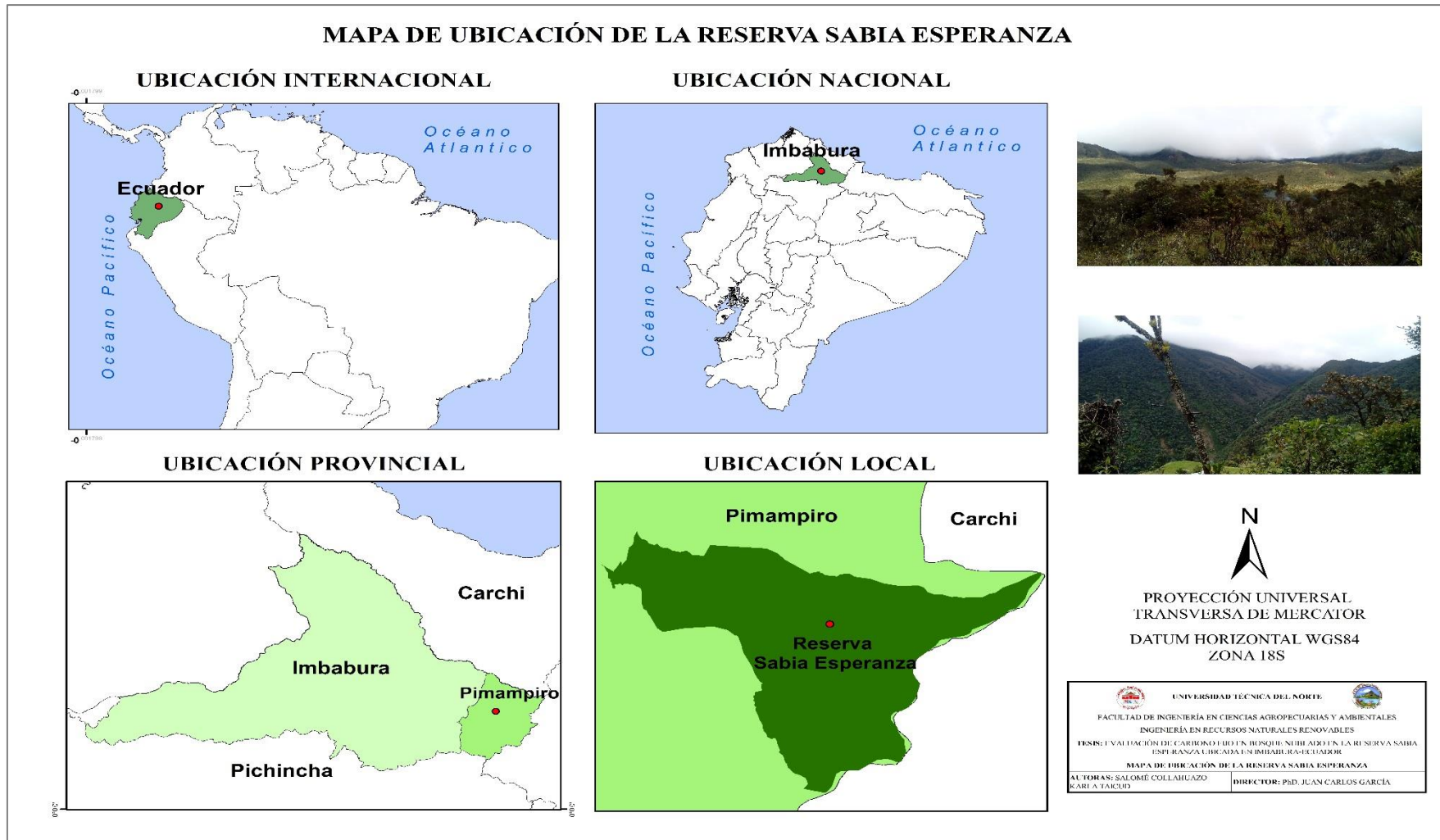
HOJAS									
Media	Suma	Σx^2	Familia	Vs	Familia	Varianza combinada	Error estándar combinado	Tc	Significancia
844,92	10984	1292	Araliaceae	vs	Betulaceae	180205,2	83,25	-7,76	**
1490,8	19381	2956	Betulaceae	vs	Cunonaceae	180324,5	83,28	7,26	**
886,54	11525	1386	Cunonaceae	vs	Dicksoniaceae	303531,5	108,05	1,32	ns
743,54	9666	1081	Dicksoniaceae	vs	Ericaceae	323009,8	111,46	-1,34	ns
892,38	11601	1447	Ericaceae	vs	Melastomataceae	284390,4	104,59	-0,06	ns
899	11687	1321	Melastomataceae	vs	Oleaceae	222136,5	92,43	-1,10	ns
1000,4	13005	1563	Oleaceae	vs	Poaceae	221619,1	92,32	1,36	ns
874,38	11367	1263	Poaceae	vs	Moraceae	242958,4	96,67	2,00	ns
681,31	8857	9172	Araliaceae	vs	Cunonaceae	304226,1	108,17	-0,38	ns
			Betulaceae	vs	Dicksoniaceae	179510,6	83,09	8,99	**
			Cunonaceae	vs	Ericaceae	323823,8	111,60	-0,05	ns
			Dicksoniaceae	vs	Melastomataceae	264098,1	100,79	-1,54	ns
			Ericaceae	vs	Oleaceae	281048,2	103,97	-1,04	ns
			Melastomataceae	vs	Poaceae	224961,3	93,02	0,26	ns
			Oleaceae	vs	Moraceae	240133,6	96,10	3,32	**
			Araliaceae	vs	Dicksoniaceae	303412,2	108,03	0,94	ns
			Betulaceae	vs	Ericaceae	199802,9	87,66	6,83	**
			Cunonaceae	vs	Melastomataceae	264912,1	100,94	-0,12	ns
			Dicksoniaceae	vs	Oleaceae	260755,9	100,15	-2,56	*
			Ericaceae	vs	Poaceae	283873,0	104,49	0,17	ns
			Melastomataceae	vs	Moraceae	243475,8	96,77	2,25	*
			Araliaceae	vs	Ericaceae	323704,4	111,58	-0,43	ns
			Betulaceae	vs	Melastomataceae	140891,2	73,61	8,04	**
			Cunonaceae	vs	Oleaceae	261569,8	100,30	-1,14	ns
			Dicksoniaceae	vs	Poaceae	263580,8	100,69	-1,30	ns
			Ericaceae	vs	Moraceae	302387,5	107,84	1,96	ns
			Araliaceae	vs	Melastomataceae	264792,7	100,92	-0,54	ns
			Betulaceae	vs	Oleaceae	137548,9	72,73	6,74	**
			Cunonaceae	vs	Poaceae	264394,7	100,84	0,12	ns
			Dicksoniaceae	vs	Moraceae	282095,3	104,16	0,60	ns
			Araliaceae	vs	Oleaceae	261450,5	100,28	-1,55	ns
			Betulaceae	vs	Poaceae	140373,8	73,48	8,39	**
			Cunonaceae	vs	Moraceae	282909,2	104,31	1,97	ns
			Araliaceae	vs	Poaceae	264275,3	100,82	-0,29	ns
			Betulaceae	vs	Moraceae	158888,3	78,17	10,36	**
			Araliaceae	vs	Moraceae	282789,8	104,29	8,50	**

RAMAS SECUNDARIAS									
Media	Suma	Σx^2	Familia	Vs	Familia	Varianza combinada	Error estándar combinado	Tc	Significancia
989,31	12861	1447	Araliaceae	vs	Betulaceae	140790,63	73,587	-2,47	*
1170,8	15220	1944	Betulaceae	vs	Cunonaceae	167800,73	80,336	2,13	*
999,54	12994	1539	Cunonaceae	vs	Dicksoniaceae	198903,92	87,465	0,40	ns
964,31	12536	1445	Dicksoniaceae	vs	Ericaceae	158526,42	78,084	-0,64	ns
1014,5	13189	1481	Ericaceae	vs	Melastomataceae	113534,83	66,081	-0,77	ns
1065,7	13854	1605	Melastomataceae	vs	Oleaceae	111895,87	65,602	-1,73	ns
1179	15327	1946	Oleaceae	vs	Poaceae	214800,21	90,893	2,93	*
912,62	11864	1458	Poaceae	vs	Moraceae	228206,63	93,687	-0,23	ns
934	12142	1305	Araliaceae	vs	Cunonaceae	173301,83	81,642	-0,13	ns
			Betulaceae	vs	Dicksoniaceae	166392,71	79,998	2,58	*
			Cunonaceae	vs	Ericaceae	159934,44	78,430	-0,19	ns
			Dicksoniaceae	vs	Melastomataceae	152504,31	76,587	-1,32	ns
			Ericaceae	vs	Oleaceae	117917,97	67,345	-2,44	*
			Melastomataceae	vs	Poaceae	210417,08	89,961	1,70	ns
			Oleaceae	vs	Moraceae	129685,42	70,625	3,47	**
			Araliaceae	vs	Dicksoniaceae	171893,81	81,310	0,31	ns
			Betulaceae	vs	Ericaceae	127423,23	70,006	2,23	*
			Cunonaceae	vs	Melastomataceae	153912,33	76,940	-0,86	ns
			Dicksoniaceae	vs	Oleaceae	156887,45	77,680	-2,76	*
			Ericaceae	vs	Poaceae	216439,18	91,239	1,12	*
			Melastomataceae	vs	Moraceae	125302,28	69,421	1,90	*
			Araliaceae	vs	Ericaceae	132924,33	71,502	-0,35	ns
			Betulaceae	vs	Melastomataceae	121401,13	68,332	1,54	ns
			Cunonaceae	vs	Oleaceae	158295,47	78,027	-2,30	*
			Dicksoniaceae	vs	Poaceae	255408,66	99,113	0,52	ns
			Ericaceae	vs	Moraceae	131324,38	71,070	1,13	ns
			Araliaceae	vs	Melastomataceae	126902,23	69,863	-1,09	ns
			Betulaceae	vs	Oleaceae	125784,26	69,555	-0,12	ns
			Cunonaceae	vs	Poaceae	256816,68	99,386	0,87	ns
			Dicksoniaceae	vs	Moraceae	170293,87	80,931	0,37	ns
			Araliaceae	vs	Oleaceae	131285,37	71,059	-2,67	*
			Betulaceae	vs	Poaceae	224305,47	92,882	2,78	*
			Cunonaceae	vs	Moraceae	171701,88	81,264	0,81	ns
			Araliaceae	vs	Poaceae	229806,58	94,014	0,82	ns
			Betulaceae	vs	Moraceae	139190,68	73,168	3,24	**
			Araliaceae	vs	Moraceae	144691,78	74,599	0,74	ns

CORTEZA									
Media	Suma	Σx^2	Familia	Vs	Familia	Varianza combinada	Error estándar combinado	Tc	Significancia
1173,8	15259	1986	Araliaceae	vs	Betulaceae	141155,38	73,682	-0,24	ns
1191,7	15492	1989	Betulaceae	vs	Cunonaceae	115885,45	66,762	-0,33	ns
1214	15782	2051	Cunonaceae	vs	Dicksoniaceae	145935,71	74,919	3,75	**
933,08	12130	1346	Dicksoniaceae	vs	Ericaceae	149345,84	75,790	-1,07	ns
1014,5	13189	1481	Ericaceae	vs	Melastomataceae	153167,34	76,753	-1,97	ns
1166,1	15159	1991	Melastomataceae	vs	Oleaceae	168396,49	80,478	0,76	ns
1104,9	14364	1767	Oleaceae	vs	Poaceae	141190,16	73,691	0,23	ns
1088,1	14145	1697	Poaceae	vs	Moraceae	151582,67	76,355	1,23	ns
994,54	12929	1490	Araliaceae	vs	Cunonaceae	138006,60	72,856	-0,55	ns
			Betulaceae	vs	Dicksoniaceae	149084,49	75,723	3,42	**
			Cunonaceae	vs	Ericaceae	116146,80	66,837	2,98	*
			Dicksoniaceae	vs	Melastomataceae	182956,24	83,886	-2,78	*
			Ericaceae	vs	Oleaceae	134786,09	72,001	-1,26	ns
			Melastomataceae	vs	Poaceae	159571,41	78,341	1,00	ns
			Oleaceae	vs	Moraceae	160407,76	78,546	1,41	ns
			Araliaceae	vs	Dicksoniaceae	171205,63	81,147	2,97	*
			Betulaceae	vs	Ericaceae	119295,58	67,737	2,62	*
			Cunonaceae	vs	Melastomataceae	149757,21	75,894	0,63	ns
			Dicksoniaceae	vs	Oleaceae	164574,99	79,560	-2,16	*
			Ericaceae	vs	Poaceae	125961,01	69,604	-1,06	ns
			Melastomataceae	vs	Moraceae	178789,01	82,925	2,07	*
			Araliaceae	vs	Ericaceae	141416,73	73,750	2,16	*
			Betulaceae	vs	Melastomataceae	152905,99	76,688	0,33	ns
			Cunonaceae	vs	Oleaceae	131375,96	71,084	1,53	ns
			Dicksoniaceae	vs	Poaceae	155749,91	77,398	-2,00	*
			Ericaceae	vs	Moraceae	145178,60	74,725	0,27	ns
			Araliaceae	vs	Melastomataceae	175027,13	82,048	0,09	ns
			Betulaceae	vs	Oleaceae	134524,74	71,931	1,21	ns
			Cunonaceae	vs	Poaceae	122550,87	68,655	1,83	ns
			Dicksoniaceae	vs	Moraceae	174967,51	82,034	-0,75	ns
			Araliaceae	vs	Oleaceae	156645,88	77,620	0,89	ns
			Betulaceae	vs	Poaceae	125699,65	69,531	1,49	ns
			Cunonaceae	vs	Moraceae	141768,47	73,842	2,97	*
			Araliaceae	vs	Poaceae	147820,80	75,402	1,14	ns
			Betulaceae	vs	Moraceae	144917,25	74,657	2,64	*
			Araliaceae	vs	Moraceae	167038,40	80,153	2,24	*

ANEXO B. Mapas y figuras

Mapa 1. Mapa de ubicación del área de estudio



Mapa 2. Mapa de distribución de parcelas de muestreo en el estrato bosque

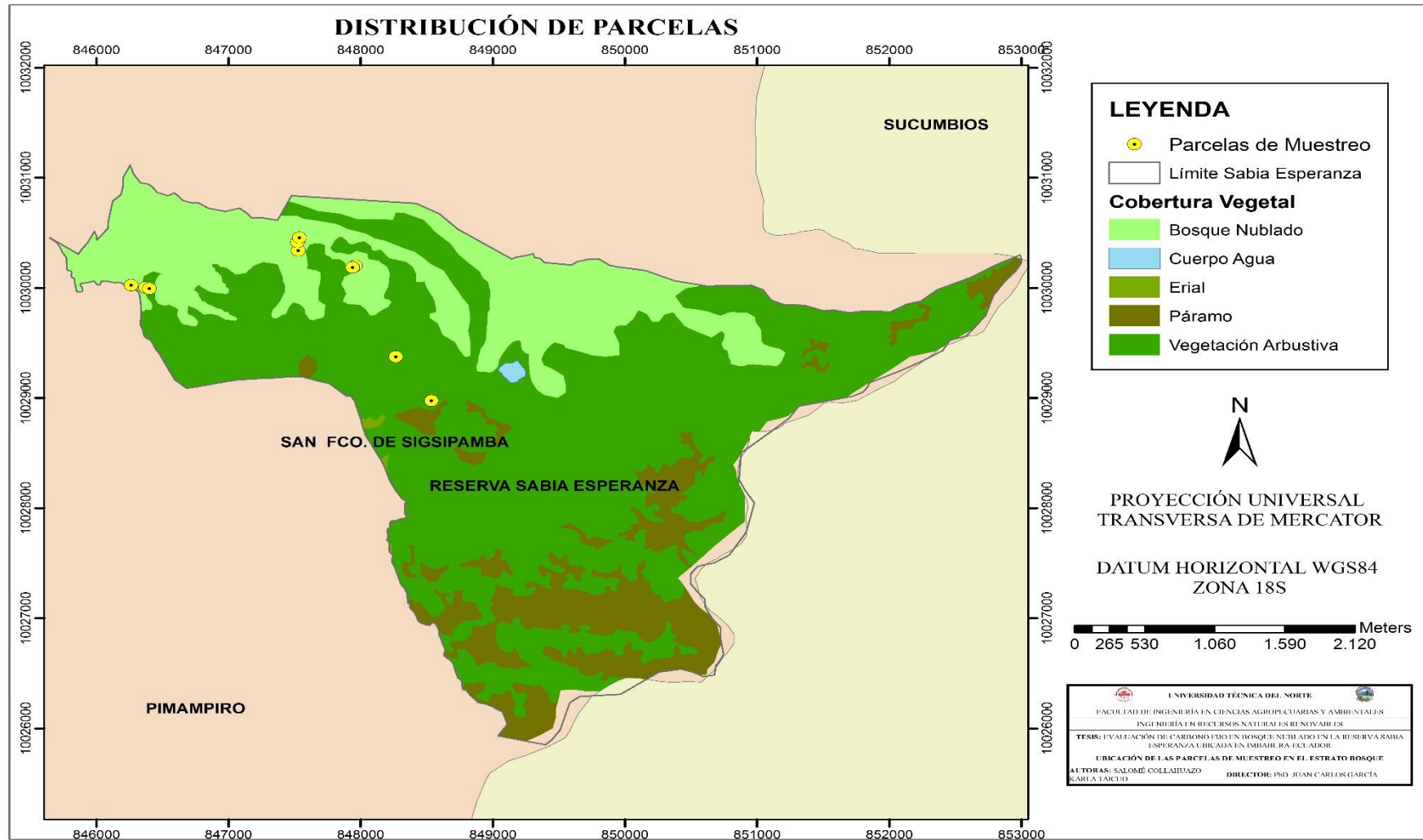
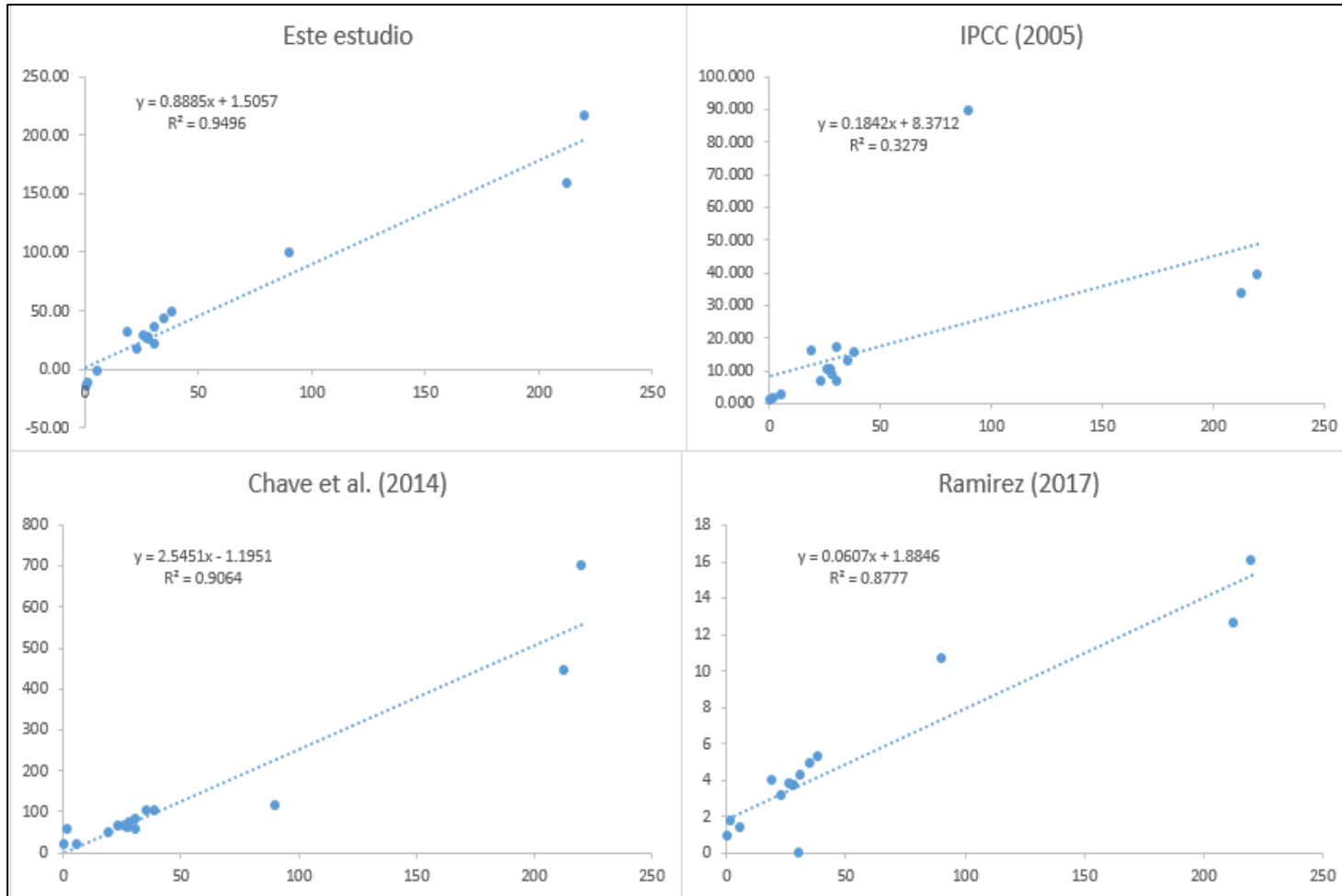


Figura 1. Regresión biomasa estimada y biomasa observada



ANEXO C. Zona de estudio



1. Bosque nublado en la reserva Sabia Esperanza.

ANEXO D. Ubicación de la zona de estudio



2. Ubicación del punto de referencia del conglomerado.

ANEXO E. Inventario forestal



3. Medición de la parcela.



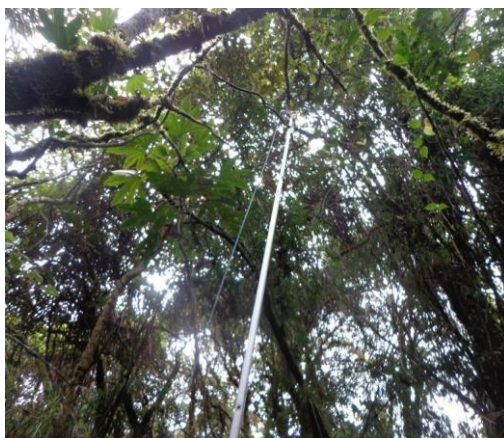
4. Delimitación de parcelas.



5. Medición del Diámetro a la
Altura del Pecho



6. Medición de alturas.



7. Recolección de muestras
botánicas y biomasa fresca.



8. Recolección de muestras de
hojarasca.



9. Extracción de una muestra de fuste con la ayuda del taladro de Pressler.



10. Prensado y secado de muestras botánicas y biomasa.



11. Pesaje de muestras de biomasa seca.

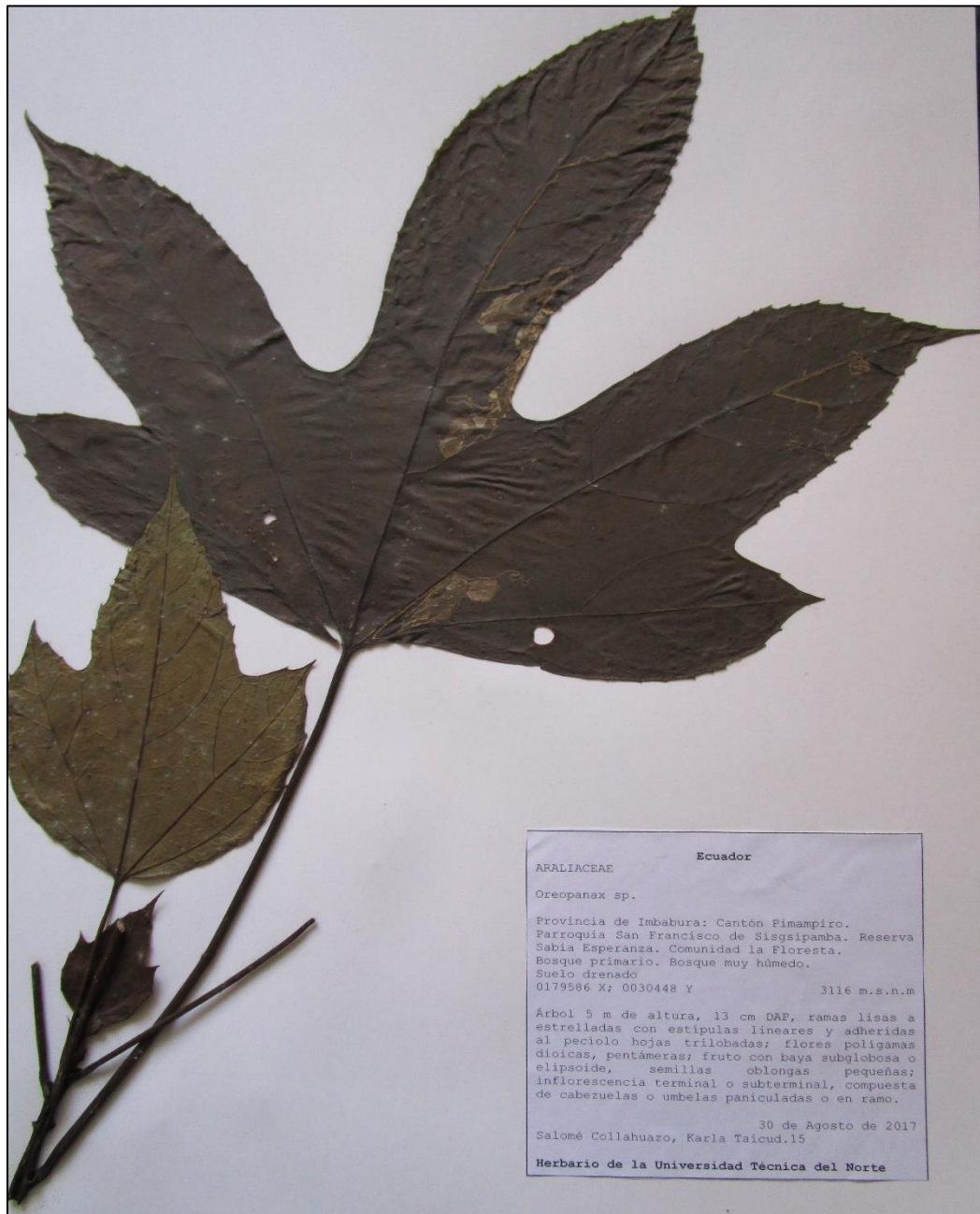


12. Montaje de muestras botánicas.

ANEXO F. Muestras botánicas



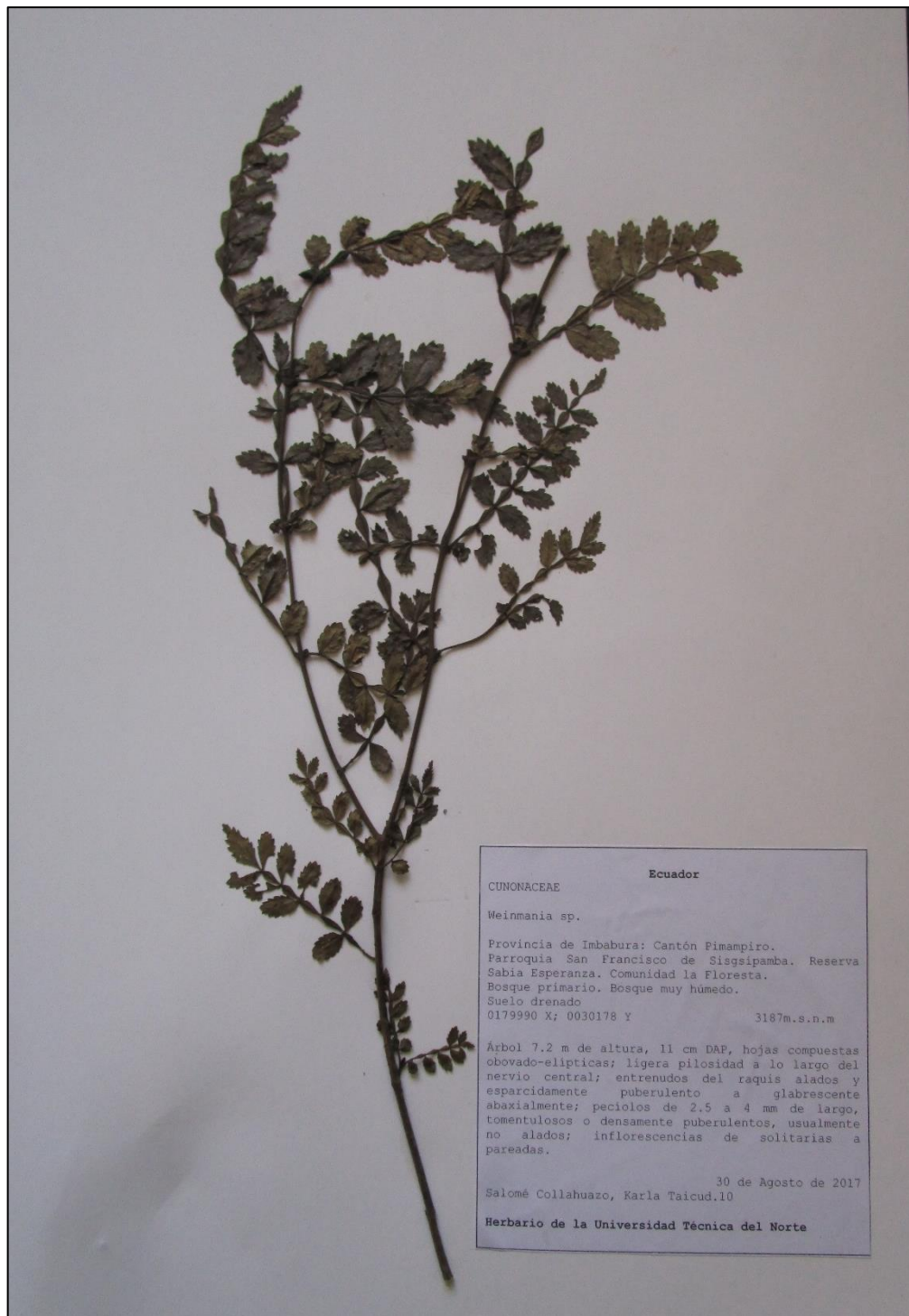
13. Familia Poaceae.



14. Familia Araliaceae.



15. Familia Solanaceae.



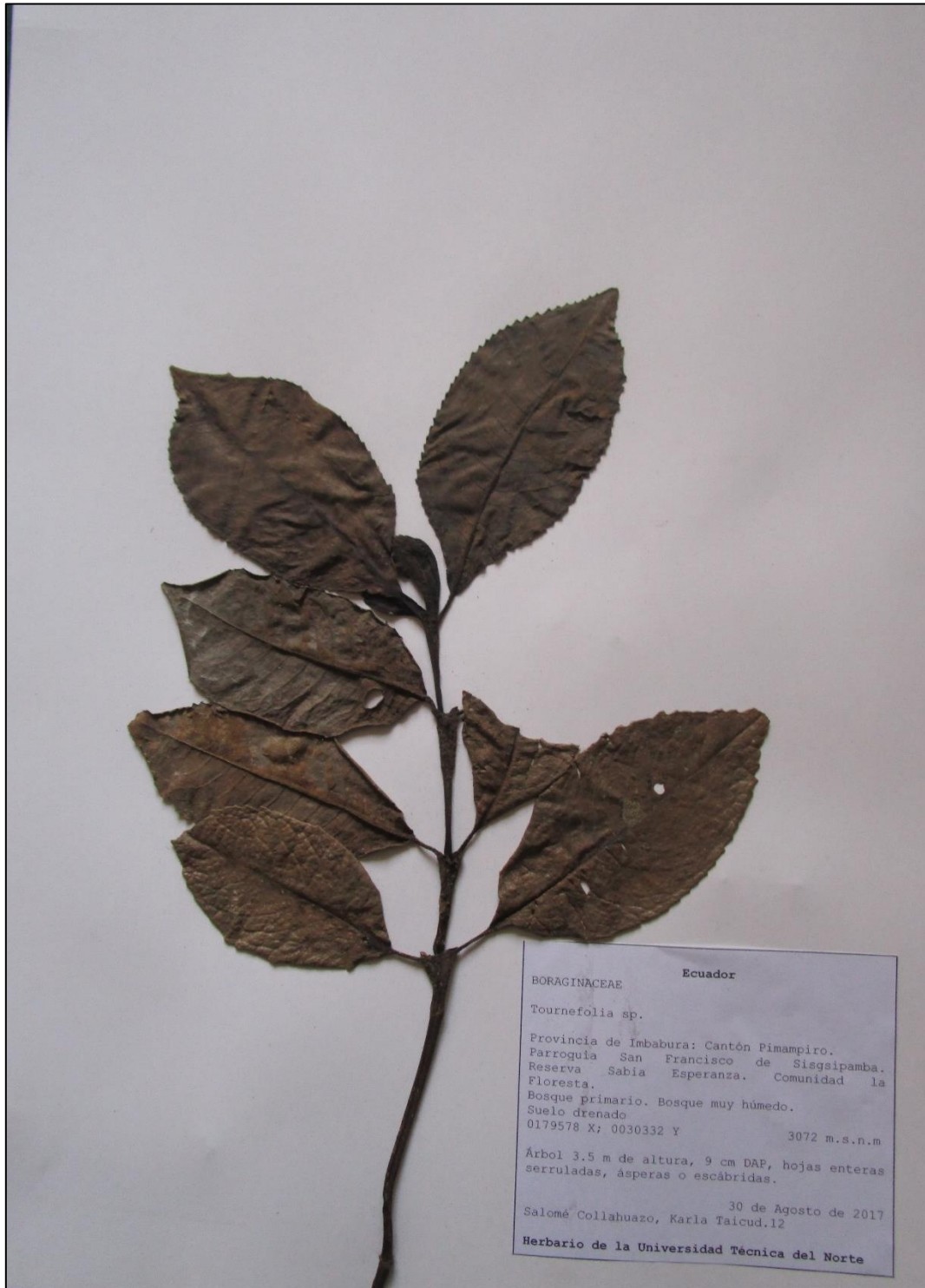
16. Familia Cunonaceae.



17. Familia Ericaceae.



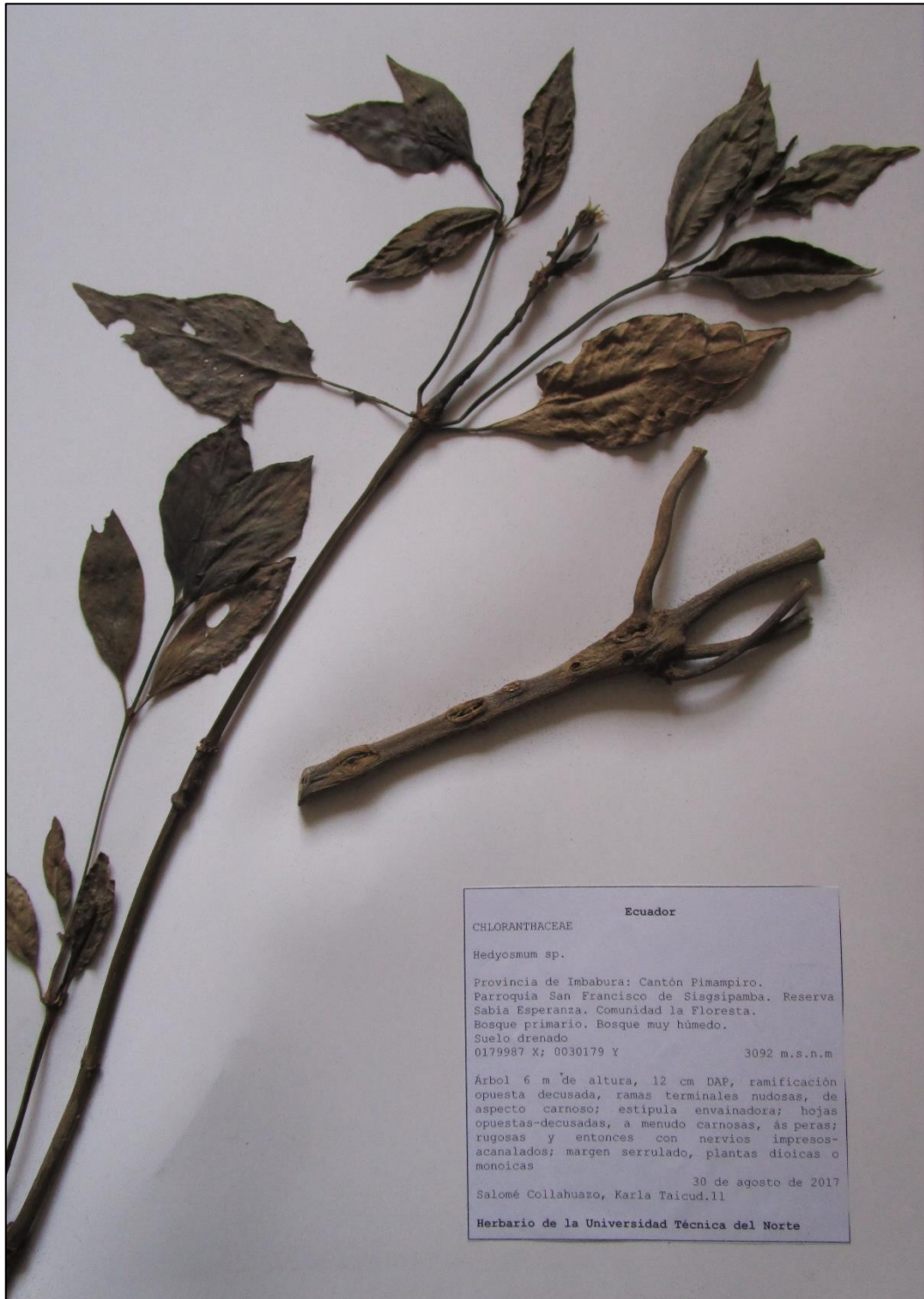
18. Familia Melastomataceae.



19. Familia Boraginaceae.



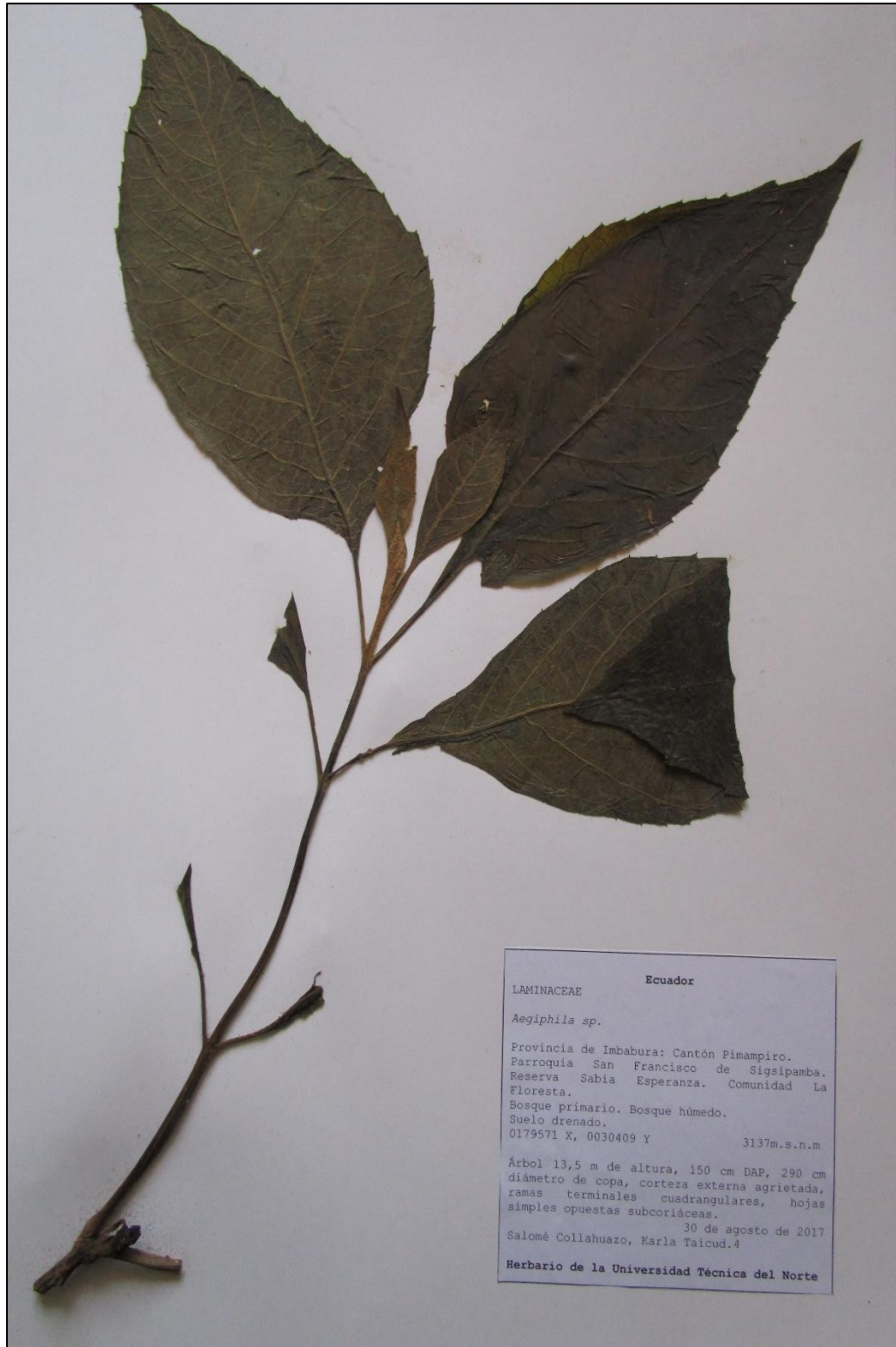
20. Familia Rubiaceae.



21. Familia Chloranthaceae.



21. Familia Asteraceae.



22. Familia Laminaceae.



23. Familia Moraceae.