

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Comparación de estimaciones de carbono aéreo utilizando valores recopilados de densidades de madera versus medidos en áreas reforestadas al Sur del Ecuador

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo


Autor:

Rubén Rodolfo Ortega Maldonado

Shannon Ailisha Serpa Valdez

Director:

Juan Pablo Ñamagua Uyaguari

ORCID:  0000-0001-9975-2138

Cuenca, Ecuador

2023-05-16

Resumen

Los bosques tropicales andinos de Ecuador son importantes para mitigar los efectos del cambio climático debido a los servicios ambientales que ofrecen, en particular por la captura y almacenamiento de carbono en su biomasa. Para evaluar el impacto de los bosques andinos en la mitigación al cambio climático, es necesario cuantificar la cantidad de carbono almacenado. El objetivo de este estudio fue comparar las estimaciones de carbono aéreo en áreas reforestadas utilizando valores de densidad de maderas obtenidas en campo y de bases de datos de información global en el sur del Ecuador. Se establecieron 52 parcelas permanentes en donde se seleccionaron cinco especies de árboles para obtener muestras de madera, se utilizaron dos métodos para determinar el volumen en verde de las muestras de madera: empírico y desplazamiento de agua. A partir de los datos obtenidos, se aplicaron ecuaciones alométricas para el cálculo de carbono aéreo. Los resultados mostraron una composición florística diversa y una amplia variabilidad de carbono aéreo en la parte sur del país, en donde el 59,6% de las parcelas presentaban una diferencia superior al 10% en relación con los valores reportados por Zanne et al., 2009 frente al carbono estimado en campo, y las mayores diferencias sucedieron en parcelas sin información de densidad de madera a nivel de especie, lo que resalta la importancia de considerar valores más precisos para evitar subestimaciones o sobrestimaciones en la evaluación del contenido de carbono aéreo en bosques tropicales.

Palabras clave: biomasa aérea, densidad de madera, áreas reforestadas

Abstract

The Andean tropical forests of Ecuador are important for mitigating the effects of climate change due to the environmental services they provide, particularly for capturing and storing carbon in their biomass. To evaluate the impact of Andean forests on climate change mitigation, it is necessary to quantify the amount of stored carbon. The objective of this study was to compare airborne carbon estimates in reforested areas using field-derived wood density values and global information databases in southern Ecuador. Fifty-two permanent plots were established where five tree species were selected to obtain wood samples, and two methods were used to determine the green volume of the wood samples: empirical and water displacement. From the obtained data, allometric equations were applied for the calculation of airborne carbon. The results showed diverse floristic composition and a wide variability of airborne carbon in the southern part of the country, where 59.6% of the plots showed a difference greater than 10% in relation to the values reported by Zanne et al., 2009 compared to the estimated carbon in the field, and the greatest differences occurred in plots without information on wood density at the species level, highlighting the importance of considering more precise values to avoid underestimation or overestimation in the evaluation of airborne carbon content in tropical forests.

Keywords: biomass, wood density, reforested areas

Índice de contenido

Introducción	11
2. Objetivos.....	12
2.1. Objetivo general	12
2.2. Objetivo específico	12
3. Hipótesis.....	12
3.1. Hipótesis estadística.....	12
4. Revisión bibliográfica	12
4.1. Bosques naturales, áreas reforestadas y el cambio climático	12
4.2. Impacto del cambio climático en bosques naturales y en formación	13
4.3. Bosques naturales y áreas reforestadas como reservorios de carbono	14
4.3.1. Importancia de cuantificar el carbono aéreo arbóreo.....	14
4.4. Estimación de biomasa con modelos alométricos.....	15
4.5. Densidad de madera	15
4.5.1. Método empírico	16
4.5.2. Método por desplazamiento de agua	16
4.5.3. Influencia de la localidad (ecosistema) en la densidad de madera	16
4.6. Inventarios forestales.....	16
4.6.1. Base de datos globales de densidad de madera	17
5. Materiales y Métodos.....	18
5.1. Área de estudio	18
5.2. Fases metodológicas.....	18
5.3. Características de las parcelas a estudiar	19
5.4. Selección de especies por localidad	20
5.5. Metodología para el objetivo específico 1: Medir la densidad de madera de especies forestales en sitios reforestados.	20
5.5.1. Obtención de muestras de madera	20
5.5.2. Método empírico	21

5.5.3. Método por desplazamiento de agua	22
5.5.4. Secado de las muestras de madera	22
5.5.5. Obtención de la densidad de madera.....	22
5.6. Metodología para el objetivo específico 2: Estimar el contenido de C en sitios reforestados utilizando valores de densidad de madera provenientes de campo y de la base de datos publicada.	22
5.7. Metodología para el objetivo específico 3: Evaluar la incertidumbre de las estimaciones de carbono aéreo entre las dos fuentes de información de la densidad de madera.....	23
5.8. Métodos de Investigación	24
6. Resultados.....	24
6.1. Medir la densidad de madera de especies forestales en sitios reforestados.....	24
6.2. Estimar el contenido de carbono aéreo en sitios reforestados utilizando valores de densidad de madera provenientes de campo y de bases de datos de información global.	28
6.2.1. Estimación de carbono aéreo en la provincia del Azuay.....	30
6.2.2. Estimación de carbono aéreo en la provincia de Cañar.....	31
6.2.3. Estimación de carbono aéreo en la provincia de Zamora Chinchipe	32
6.2.4. Estimación de carbono aéreo en la provincia de Loja	33
6.2.5. Estimación de carbono aéreo en la provincia de El Oro	34
6.3. Evaluar la incertidumbre de las estimaciones de carbono aéreo entre las dos fuentes de información de la densidad de madera.	35
7. Discusión	38
Conclusiones	4141
Referencias.....	43
Anexos.....	52

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de los sitios de estudio. Adaptada del Instituto Geofísico Militar, 2022.	18
Figura 2. Fases metodológicas implementadas para la estimación de carbono aéreo. Adaptada de Sarango y Tenempaguay, 2020.	19
Figura 3. Forma y estructura de un barrenador incremental. Tomada de Chave, 2006.	20
Figura 4. Procedimiento para la obtención de muestras forestales por medio de un barrenador incremental. Tomada de Chave, 2006.	21
Figura 5. Comparación de carbono aéreo (t/ha) por medio de un gráfico de correlación entre los valores obtenidos a nivel de campo frente a Zanne et al., 2009.	30
Figura 6. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de Azuay, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.	31
Figura 7. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de Cañar, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.	32
Figura 8. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de Zamora Chinchipe, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.	33
Figura 9. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de Loja, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.	34
Figura 10. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de El Oro, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.	35
Figura 11. Diagrama de barras sobre el porcentaje de subestimación y sobrestimación presentado por parte de los valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009 a nivel de provincia.	37

Índice de tablas

Tabla 1. Características de los sitios monitoreados para la medición de densidad de madera en 52 parcelas permanentes ubicadas en la parte sur del país.	25
Tabla 2. Descripción de las principales familias encontradas, número de individuos por familia, densidad de madera (mín y máx) y presencia a nivel de provincia y parcela de estudio.	25
Tabla 3. Matriz de correlación entre el DAP (> 5 cm), altura y la densidad de madera.	28
Tabla 4. Estadístico de comparación de medias por medio de una prueba t-student para las variables de carbono aéreo evaluadas.	37

Anexos

Anexo A. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de Azuay.	52
Anexo B. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de Cañar.	55
Anexo C. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de Zamora Chinchipe.	56
Anexo D. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de Loja.	61
Anexo E. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de El Oro.	62
Anexo F. Reconocimiento de la parcela y ubicación de los árboles, para la obtención de muestras de madera.	64
Anexo G. Reconocimiento de código de un árbol y la obtención de medidas dendrométricas.	64
Anexo H. Barrenación de un árbol, para la obtención de una muestra de madera, por medio del barrenador de incremento o pressler.	64
Anexo I. Obtención del volumen en verde de las muestras de madera, por medio del método por desplazamiento de agua y método empírico.	65
Anexo J. Proceso de secado por medio de la estufa (72°C) y medición del peso seco de las muestras de madera.	66

Agradecimientos

Primeramente, damos gracias a Dios por permitirnos lograr esta meta y vivir grandes experiencias junto con todas las personas que hemos conocido en este camino. De esta forma, agradecemos al Dr. Juan Pablo Iñamagua PhD, por su paciencia, consejos y conocimiento aportado en este proyecto. De igual forma, gracias al Ing. Franklin Marín MSc, quien nos guió en el desarrollo de esta tesis. También, se agradece al proyecto “Consolidando una red de monitoreo de bosque de largo plazo en un paisaje modificado por humanos en el Norte del Ecuador II” (COFOREC II) el cual al contar con financiamiento VLIR-UOS proporcionó recursos para el desarrollo de la presente investigación, asimismo se agradece a la Organización FONAPA por la prestación de sus materiales.

Adicionalmente gracias a cada una de las personas que nos brindaron compañía, momentos divertidos, conocimientos y apoyo en cada una de las etapas recorridas, como lo fue la Dra. Ximena Palomeque, Ing. Jonny Delva, Ing. Klever Jaramillo, Ing. David Murillo, Blga. Gabriela Maldonado MSc, Ing. Sandra Quito, Ing. Amanda Suqui MSc e Ing. Claudia Patiño.

Finalmente agradecemos a quienes indirectamente siempre estuvieron presentes y nos brindaron su apoyo.

Rubén Ortega & Shannon Serpa

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a todos nuestros familiares que fueron nuestro apoyo incondicional en todo este camino. También, a todos nuestros amigos cercanos que nos brindaron consejos y la fortaleza necesaria para no rendirnos en cada etapa de este proyecto.

Rubén Ortega & Shannon Serpa

Introducción

El cambio climático es una variación que se presenta en el estado medio del clima, que genera el incremento de la temperatura del planeta y cambios en los regímenes de precipitación. Los cambios en el clima se atribuyen al aumento en la concentración de Gases Efecto Invernadero (GEI), debido a actividades antropogénicas (IPCC, 2001). Entre los GEIs, el dióxido de carbono es el de mayor importancia e impacto, debido a su incremento en las emisiones, el cual, junto con otros GEIs, requieren ser regularizados para evitar graves consecuencias en los ecosistemas naturales (Rehman et al., 2021; Ovalle-Rivera et al., 2015).

Las consecuencias que provoca el cambio climático en los ecosistemas naturales implican, entre otras, la erosión de los suelos, degradación y pérdida de la abundancia biótica, ocasionando la disminución de los servicios ecosistémicos que brindan los bosques (Duque, et al., 2021). Es por ello, que la función de los bosques llega a ser de importancia en la mitigación del cambio climático debido a que estos son reguladores del CO₂ atmosférico (Mori et al., 2017).

El IPCC (2022) señala que las emisiones netas de CO₂ acumuladas desde 1990 hasta el 2019 fueron de 2400 Gt. El 17% del incremento de estas emisiones, ocurrieron entre el año 2010 hasta el 2019 (IPCC, 2022). De esta manera, se identificó que el 25 a 30 % es absorbido por los océanos y un 8 a 30 % por la vegetación existente y la meteorización de minerales. (Mondragón, 2021)

En la actualidad, la reserva de carbono almacenado a nivel de suelo y plantas por parte de los ecosistemas boscosos sudamericanos, asciende aproximadamente a la mitad del carbono contenido en la atmósfera (Bendix et al., 2013). A pesar de ello, la deforestación sigue presente, lo que conlleva la pérdida de bosques tropicales y estos a su vez representan el 10% de emisiones a nivel global de GEIs (Nolte et al., 2017). Asimismo, el 45% de la superficie de Ecuador se encuentra bajo cubierta forestal (López, 2017). Esta se ve amenazada debido a los cambios de uso de suelo y deforestación acelerada, poniendo en riesgo su alta biodiversidad (Jadán et al., 2016; Mitchard, 2018)

En este trabajo se estimó el contenido de carbono aéreo en sitios reforestados, ubicados en el sur del país y se evaluó las diferencias entre valores de densidad de madera medidos en campo frente a otros obtenidos de una base global (Zanne et al., 2009).

1. Objetivos

2.1. Objetivo general

Comparar las estimaciones de carbono aéreo de las áreas reforestadas utilizando datos de densidad de maderas obtenidas en campo y de información global.

2.2. Objetivo específico

- Medir la densidad de madera de especies forestales en sitios reforestados.
- Estimar el contenido de carbono aéreo en sitios reforestados utilizando valores de densidad de madera provenientes de campo y de bases de datos de información global.
- Evaluar la incertidumbre de las estimaciones de carbono aéreo entre las dos fuentes de información de densidad de madera.

2. Hipótesis

3.1. Hipótesis estadística

H1: El contenido de carbono aéreo en áreas reforestadas presenta diferencias significativas cuando se utiliza valores de densidad de madera medidos in situ en comparación al utilizar valores reportados por la literatura.

3. Revisión bibliográfica

4.1. Bosques naturales, áreas reforestadas y el cambio climático

El clima de la tierra está en permanente variación, esto debido al cambio climático producido principalmente por actividades humanas, las cuales han alterado la composición de la atmósfera. En consecuencia, se ha dado un incremento exponencial con respecto a los gases de efecto invernadero (GEIs) de origen antropogénico (Díaz, et al., 2017).

Por tanto, el dióxido de carbono (CO₂) está generando un impacto en la atmósfera y su concentración ha ido aumentando progresivamente, pasando de 280 a 350-370 partes por millón (ppm) y continuando su incremento (Epstein y Rogers 2004, Schmidt 2017). Este aumento se está dando a una tasa promedio un poco superior a 1 ppm al año, lo que tiene

como consecuencia una intensificación del cambio climático con posibles riesgos muy graves a largo plazo (Ipinza & Barros, 2011; Díaz, et al., 2007).

Con respecto a lo anterior es necesario implementar medidas de mitigación efectivas. Los bosques primarios y secundarios son importantes en los climas regionales y globales, puesto a que ofrecen una amplia gama de servicios ecosistémicos. De esta manera, pueden reducir las emisiones de CO₂ mediante la captura y almacenamiento de CO₂ por encima y por debajo del suelo (Busch, et al., 2019; Wang, et al., 2022; Kothandaraman et al., 2020).

A pesar de la importancia de los bosques naturales y áreas reforestadas a nivel mundial, anualmente se pierden grandes extensiones de ecosistemas boscosos por actividades antropogénicas (FAO, 2022; Liu et al., 2015; North et al., 2019). Un claro ejemplo es la región Amazónica, desde el año 2000 hasta el 2013, se registró una tasa de deforestación del 37% (16,053 km²), lo que corresponde a una pérdida anual de 1337 km² de bosque (Da Silva et al., 2014; RAISG, 2015; Malhi, et al., 2008). Por consiguiente, es necesario abordar eficazmente la crisis asociada entre las actividades antropogénicas y el cambio climático.

En la actualidad, el establecimiento de áreas reforestadas, plantaciones comerciales y sistemas agroforestales, son consideradas como medidas para la mitigación del cambio climático, dado el potencial de secuestro de C de los bosques (Busch, et al., 2019; Wang, et al., 2022). Según Friedlingstein et al., (2019) existen cerca de 900 millones de hectáreas que podrían ser reforestadas, esta restauración potencial conseguiría almacenar cerca de 205 Gt de C.

4.2. Impacto del cambio climático en bosques naturales y en formación

El desequilibrio del clima resulta en impactos fuertes y duraderos en ecosistemas forestales, tales como: degradación del suelo, cambios en los microclimas boscosos (temperatura y precipitación), mayor presencia de agentes perturbadores bióticos (insectos fitopatógenos), afectación de la distribución de especies, tamaño final, estructura y funcionamiento de los individuos forestales, cambios en el flujo y calidad de servicios ambientales, entre otros (Costandache et al., 2019; Seidl et al., 2017; Mitchard, 2018).

La reducción en la capacidad de absorción de carbono de los bosques naturales y en formación a nivel mundial, genera impactos que perturban tanto las tasas fotosintéticas como la respiración a nivel enzimático y estomático, lo que implica un desequilibrio directo en el ciclo del carbono en la planta (Keeling, 1973 ; Gregory, et al., 2009). Estos efectos se deben al aumento del CO₂ atmosférico y a los cambios climáticos, lo que afecta el almacenamiento

de carbono terrestre y contribuye a la retroalimentación de los ecosistemas terrestres a la concentración atmosférica de CO₂ (Schimel et al., 2015).

4.3. Bosques naturales y áreas reforestadas como reservorios de carbono

El carbono global total almacenado constituye entre 1500 y 2000 Gt; la mayor parte se almacena en biomasa forestal (Usuga et al., 2010). De la misma manera, sus órganos vegetales como las hojas, ramas, troncos, raíces, madera muerta y el suelo logran almacenar grandes cantidades de carbono. En ese sentido, Cramer et al., (2004) mencionan que los bosques tropicales podrían generar una fuente de carbono sin precedentes, incluso en presencia de actividades antropogénicas. De igual manera, Nave et al. (2019), cita que la intensificación de bosques en formación, actuarán a largo plazo como sumideros netos de carbono, potenciando el rebrote de los bosques tras perturbaciones anteriores. Por ello, es de importancia conocer el contenido de biomasa arbórea, debido a que esto se considera como una medida de mitigación frente al cambio climático (López, 2015; Hermoso, 2001).

Díaz (2017), menciona que probablemente los bosques pueden ser reestructurados. Es decir, que se podrán realizar nuevas asociaciones vegetales de forma antropogénica para enfrentar el cambio climático. Sin embargo, en zonas altas existe una alta sensibilidad de la vegetación frente a la variación del clima, dando cabida a procesos de termofilización (Duque et al., 2021). Por lo tanto, especies forestales ubicadas en menor altitud migran hacia zonas altas. Esto ocasiona un cambio en la composición y pérdida de biodiversidad. Cabe recalcar que hasta el momento existe poca información sobre los efectos potenciales que ocasionará el cambio climático sobre los ecosistemas forestales a largo plazo (De Costa, 2011).

4.3.1. Importancia de cuantificar el carbono aéreo arbóreo

La identificación del carbono aéreo en formaciones vegetales tales como bosques naturales y en formación, favorecerá un adecuado manejo en las zonas de conservación. Esto debido a que los ecosistemas boscosos capturan y almacenan componentes de carbono en sus estructuras por periodos extensos (Díaz, 2017). Es por esto, que dichos ecosistemas se les conoce como reservas naturales de carbono y su cuantificación es fundamental, por el tema de conservación de bosques. Por lo tanto, permite identificar las áreas potenciales que provean de servicios ambientales y almacenen grandes cantidades de carbono en su biomasa (Valdivia, 2021).

Es necesario considerar que la capacidad que poseen los ecosistemas forestales para captar y almacenar carbono en forma de biomasa aérea va a depender de la edad, diámetro, altura

de los árboles, densidad de madera, densidad de población de cada estrato y de la comunidad vegetal (Martel & Cairampoma, 2012).

4.4. Estimación de biomasa con modelos alométricos

A comparación de otros ecosistemas terrestres, los ecosistemas forestales poseen procesos en donde la producción primaria es incorporada a los tejidos de los árboles, manifestándose en el crecimiento y expresándose como biomasa (Alva, 2020).

Para estimar la cantidad de carbono por medio de la biomasa de un bosque, existen métodos directos e indirectos. El primero se destaca por procesos destructivos, el cual consiste en cortar la especie vegetal y de esta forma determinar su biomasa. En el método indirecto se utilizan varias técnicas de cubicación de las especies forestales. Así se podrá determinar los volúmenes de madera por medio de muestras frescas y la obtención de su peso seco (Cuenca et al., 2014).

Otra manera para la estimación de biomasa es la implementación de ecuaciones o modelos alométricos fundamentados en análisis de regresión lineal y no lineal, de manera análoga estos implementan variables dendrométricas medidas en campo conocidas como independientes o regresoras. Siendo estas: altura comercial (hc), altura total (ht), diámetro a la altura del pecho (DAP), incremento diamétrico, área basal y densidad específica de la madera (Chave et al., 2005; Sivilisaca et al., 2018).

4.5. Densidad de madera

La densidad de madera o también denominada gravedad específica corresponde a la relación que mantiene la masa seca y el volumen verde. Se relaciona estrechamente con ciertos rasgos funcionales como lo son: tasa de crecimiento en el diámetro del fuste, tasa de mortalidad, momento óptimo de reproducción, capacidades hidráulicas del tallo, resistencia mecánica, superficie de sus tejidos y paredes celulares junto con los espacios celulares (Lawson et al., 2015). Por lo tanto, las especies forestales con una alta tasa de densidad de madera presentan un alto porcentaje de tejido fibroso y paredes de fibras más gruesas. En casos contrarios, especies forestales que presentan paredes de fibras delgadas mantienen densidades bajas de madera (Lawson et al., 2015; Padilla & Cristina, 2018).

La densidad de madera suele variar en distintos sitios y entre especies. Esto sucede por factores climáticos como lo es luz, agua, temperatura o nutrición del suelo. Asimismo, se ve influenciada por la parte ecológica de la especie, si es que es pionera o de sucesión avanzada. También, la presencia de factores mecánicos que perturban a las especies

forestales y otros factores presentes como la edad del árbol (Kimberley et al., 2015). Por último, un factor predominante es la fuerte heredabilidad genética de cada especie para expresar su potencial de densidad de madera (Lawson et al., 2015; López & Valencia, 2016).

Para la determinación de la densidad de madera, se suele obtener muestras de madera por medio de barrenadores incrementales, posterior a ello se realiza el análisis de volumen en verde por varios métodos, principalmente suele aplicarse el método empírico o el método por desplazamiento de agua (Chave, 2006).

4.5.1. Método empírico

El método empírico considera a la muestra de madera como un cilindro perfecto, en donde se procede a tomar la longitud total del largo de la muestra. Esto con la ayuda de una regla graduada con aproximación en milímetros (Valencia & Vargas, 1997).

4.5.2. Método por desplazamiento de agua

El método por desplazamiento de agua consiste en obtener mediciones confiables de volumen de muestras de madera irregulares o regulares. Esto se realiza con la ayuda de una probeta entre 10 a 100 ml de agua dependiendo del tamaño de la muestra. Seguidamente la muestra de madera se sumerge en la probeta con agua, sin que esta toque la parte lateral y el fondo de la misma. Por ello, el peso del agua desplazada será igual al volumen de la muestra (Chave, 2006).

4.5.3. Influencia de la localidad (ecosistema) en la densidad de madera

La biomasa aérea arbórea y la cuantificación del carbono aéreo se ven directamente afectadas por la densidad de madera, que a su vez es influenciada por varios factores como la composición florística, el tipo de suelo, las condiciones del rodal, el manejo, la edad y el tipo de especie presentes en un ecosistema específico (Vázquez, 2015). Por otro lado, se ha observado una relación indirectamente proporcional entre la reducción de la biomasa aérea y la altitud, pero esta relación es contrarrestada por una mayor precipitación (Díaz, 2017). En consecuencia, estos factores deben ser considerados en la evaluación de la biomasa y el almacenamiento de carbono en los ecosistemas terrestres.

4.6. Inventarios forestales

Los inventarios forestales representan el almacenamiento de la información obtenida de las superficies forestales en una o varias regiones a lo largo de los años. Sin embargo, el diseño de muestreo suele variar a nivel de países o regiones. En general, las parcelas suelen

distribuirse de forma sistemática en zonas con grandes extensiones de superficie forestal (superior al 10% y 20%) (Smith et al., 2004; Arévalo, 2015).

Este tipo de inventarios se dedican a la estimación de reservas de carbono, para lo cual suelen tomar en cuenta muchas variables de medición como lo son: árboles vivos, madera muerta e inclusive el suelo. Además, estos estimadores suelen variar en dependencia del bosque, región y el régimen de gestión (Ruiz & García, 2016).

A nivel mundial existen varios inventarios forestales de carbono que han recopilado datos de múltiples especies forestales en distintas regiones del mundo, los cuales pueden actuar como una herramienta que permita evaluar los bosques y sus cambios con el tiempo. Sin embargo, debido a los altos costos para la obtención de información, los programas de inventarios forestales no llegan a medir la densidad de madera de una forma frecuente (Ospina et al., 2014; Kerfriden et al., 2021).

En el Ecuador se tiene poca o casi nula existencia de información detallada sobre inventarios forestales. Es por ello, que impide una clara determinación de los niveles de carbono en distintas regiones del país. Asimismo, el desconocimiento de los niveles de carbono impide comprender el potencial de áreas reforestadas y bosques naturales que proveen servicios ambientales como lo es la mitigación de CO₂ y la conformación de proyectos futuros de reforestación y protección de áreas naturales (Pintado & Astudillo, 2021).

4.6.1. Base de datos globales de densidad de madera

Hasta el momento las estimaciones de biomasa están fundamentadas en el uso de un valor promedio de densidad de madera a nivel de especie, género o familia, empleando la combinación de volúmenes de árboles de los inventarios forestales o mediante la implementación de ecuaciones alométricas de biomasa (Chave et al., 2004; IPCC, 2006).

Por ello, los valores de densidad de madera son extraídos de bases de datos como la de Zanne et al. (2009) o la base de datos global de Chave et al. (2009), siendo estas bases las más conocidas, cabe recalcar que los datos de las bases de densidad de madera no son representativos, esto debido que las poblaciones de los árboles poseen condiciones de crecimiento diferentes, llegando a tener una variabilidad del 100 a 1300 kg m⁻³ entre especies de árboles, como se infiere de la base de datos de densidad de madera (Zanne et al. 2009; Chave et al. 2009; Kerfriden et al., 2021).

5. Materiales y Métodos

5.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en la parte Sur del Ecuador, abarcando 5 provincias bajo un número heterogéneo de localidades, las cuales fueron: Azuay (5), Zamora Chinchipe (3), El Oro (1), Loja (1) y Cañar (1) (Fig. 1). Las localidades de estudio se ubicaron en varios pisos altitudinales, dentro de un rango desde 718 hasta los 3263 m.s.n.m.

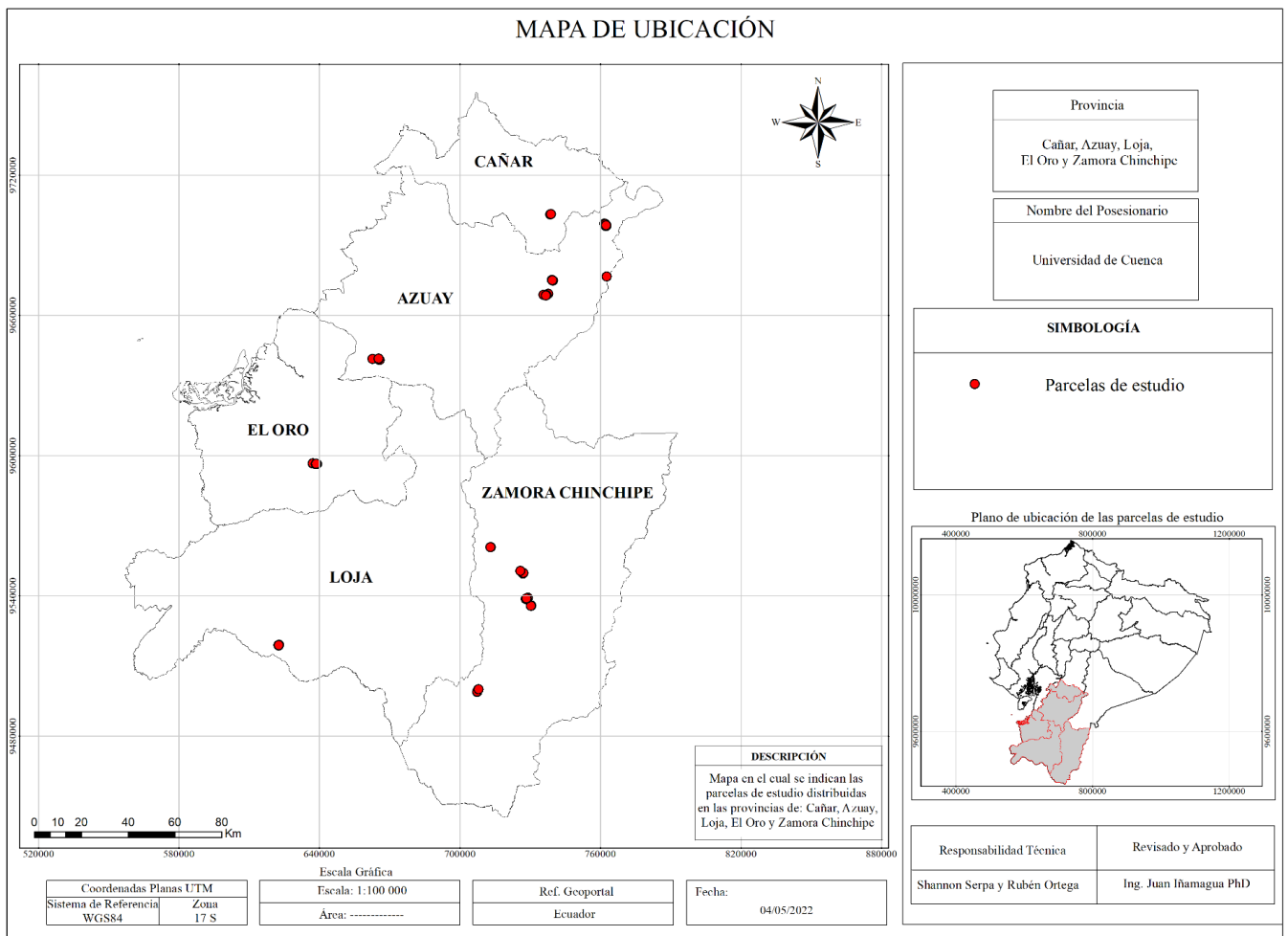


Figura 1. Mapa de los sitios de estudio. Adaptada del Instituto Geofísico Militar, 2022.

5.2. Fases metodológicas

Con respecto a la metodología, esta se llevó a cabo en tres etapas (Figura 2). La primera corresponde a la fase de campo, en donde se obtuvieron las muestras de madera por medio del método propuesto por Chave (2006), la obtención de ciertas medidas dendrométricas y recolección de muestras botánicas. La segunda etapa corresponde a la fase de laboratorio, en donde se estima el volumen de cada muestra en base a dos métodos (empírico y

desplazamiento de agua) y la obtención del peso seco de cada muestra de madera. Finalmente, la última etapa corresponde a la fase de análisis de datos en donde se elaboró una base de datos y posteriormente se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos.

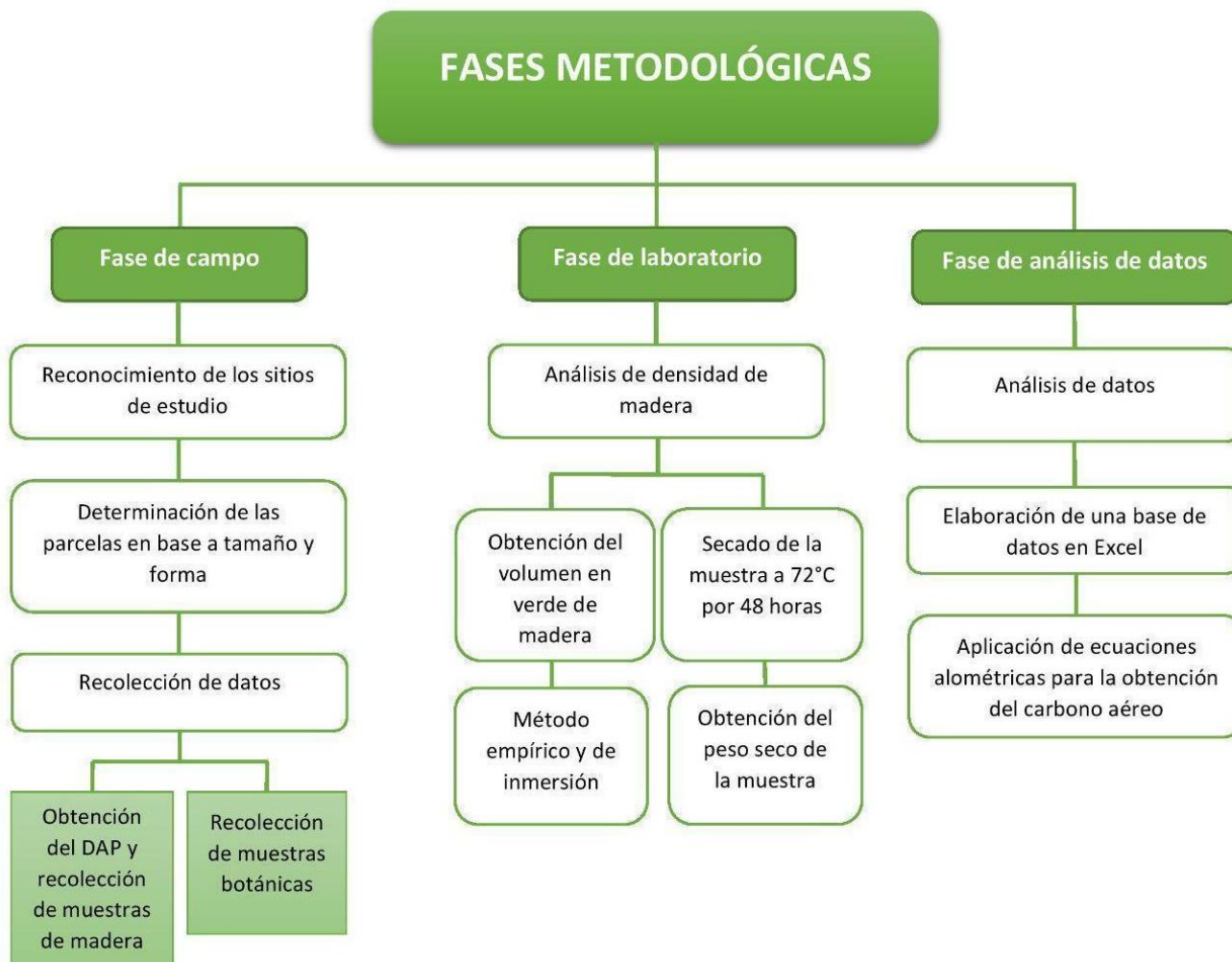


Figura 2. Fases metodológicas implementadas para la estimación de carbono aéreo. Adaptada de Sarango y Tenempaguay, 2020.

5.3. Características de las parcelas a estudiar

Las parcelas de estudio fueron establecidas en el desarrollo del proyecto “Consolidando una red de monitoreo de bosque de largo plazo en un paisaje modificado por humanos en el Norte del Ecuador II” (COFOREC II) el cual cuenta con financiamiento VLIR-UOS. Dentro de las localidades de interés se encuentran establecidas 52 parcelas permanentes de estudio. Las parcelas presentan medidas de 20 x 20 m (400 m²) y otras con medidas de 40 x 40 m (1600 m²). Es por ello que como primera instancia se realizó recorridos *in situ* para un reconocimiento de las parcelas instaladas en las áreas reforestadas. Cada parcela se encuentra georeferenciada y además cuenta con una base de datos que abarca diversas

características independientes obtenidas a nivel de campo y otras descripciones, como lo son: elevación, pendiente, orientación, clasificación de clases diamétricas, nombre común y científico de varias especies, altura, DAP (≥ 5 cm), entre otras.

5.4. Selección de especies por localidad

En cada parcela se identificaron 5 especies forestales predominantes, por lo cual, se consideraron dos criterios determinantes, tales como: área basal (3) y la frecuencia de individuos (2) por cada parcela. Las especies que cumplieron con estos criterios, fueron seleccionadas para la toma de muestras de densidad de madera. De esta forma, se obtuvo 5 muestras de madera por cada individuo, con un total de 25 muestras de madera por cada parcela. Teniendo en cuenta el número de individuos vivos en cada parcela, el número final de muestras tomadas fue variable. Además de ello, se recolectaron muestras botánicas de especies aún no identificadas en cada parcela.

5.5. Metodología para el objetivo específico 1: Medir la densidad de madera de especies forestales en sitios reforestados.

La metodología aplicada fue la propuesta por Chave (2006) para la obtención de muestras de madera. En donde se utilizaron barrenadores incrementales o de pressler de distintos diámetros. Los cuales están conformados por un mango, una broca descorazonadora (5,15; 5,30 y 12 mm) y un extractor (Figura 3).

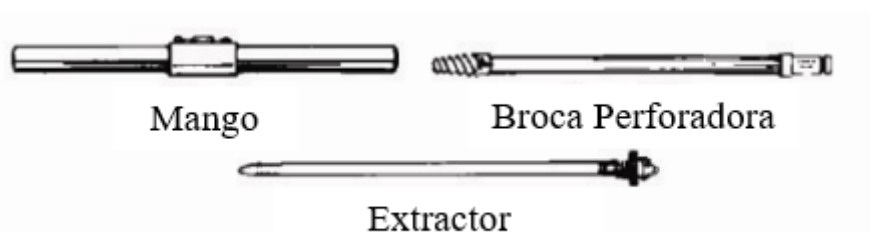


Figura 3. Forma y estructura de un barrenador incremental. Tomada de Chave, 2006.

5.5.1. Obtención de muestras de madera

Primeramente, en el tronco principal del árbol se realizó una medición del DAP (≥ 5 cm), el cual fue tomado con una cinta diamétrica forestal. Seguido, de la incisión del barreno, a una altura de 1.30 m, cabe mencionar que esta medida fue tomada desde la base del árbol. Por otro lado, la consideración para obtener el límite de la penetración del barreno en cada individuo forestal fue el cálculo de la mitad del DAP obtenido con anticipación ($DAP / 2$) (Figura 4). Una vez obtenida la muestra de madera, de forma inmediata era envuelta en una servilleta

absorbente y rociada con pequeñas cantidades de agua destilada para mantener su humedad y evitar su secado. Finalmente, cada muestra de madera era almacenada en una funda plástica y etiquetada de forma correspondiente. El procesamiento de las muestras se realizaba de forma inmediata, pero caso contrario se conservaban bajo refrigeración hasta un periodo máximo de 72 horas previo a su procesamiento.

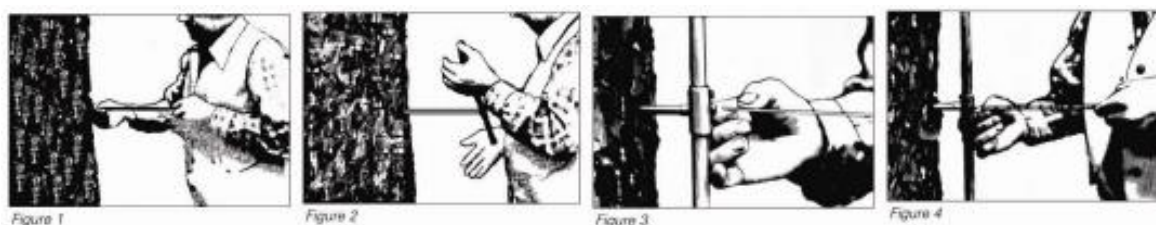


Figura 4. Procedimiento para la obtención de muestras forestales por medio de un barrenador incremental. Tomada de Chave, 2006.

La obtención del volumen en verde de cada muestra de madera a nivel de laboratorio se realizó por medio de la aplicación de dos métodos. El primero fue el método empírico y el segundo correspondió al método por desplazamiento de agua.

5.5.2. Método empírico

La obtención del volumen en verde de la muestra por este método, consiste en la toma de dos valores medidos por un calibrador digital, tal como lo es la longitud total y el diámetro de la muestra. Para este último, se obtuvo un promedio, al realizar la toma de 3 medidas de la muestra, las cuales fueron tomadas en varias secciones (inicio, mitad y final) de la muestra. De esta forma, se puede evitar una sub o sobreestimación del diámetro de la misma. Finalmente, se aplicó la siguiente fórmula a cada muestra:

$$V_v = \frac{(\pi \times D^2 \times L)}{4}$$

En donde:

V_v = Volumen en verde (cm^3)

D = Diámetro de la muestra (cm)

L = Longitud de la muestra (cm)

5.5.3. Método por desplazamiento de agua

Este método se caracteriza por sumergir la muestra de madera dentro de una probeta con agua destilada. La muestra de madera una vez sumergida debe evitar cualquier tipo de roce con la parte lateral y fondo de la probeta. Para ello, se utilizó una aguja o pinza como ayuda. Por lo tanto, para cuantificar su volumen se observa en la probeta la cantidad de agua desplazada desde un punto referencial.

5.5.4. Secado de las muestras de madera

El proceso de secado de las muestras de madera fue por medio de la estufa. El tiempo y temperatura óptima de secado consistió en un periodo de 72 horas bajo 72 °C. En caso de no obtener un correcto secado, fue necesario aplicar únicamente un periodo más prolongado de tiempo, manteniendo la misma temperatura. De esta manera, se logra obtener un punto óptimo y constante de secado por parte de las muestras de madera. Para la obtención del peso seco de las muestras, se utilizó una balanza de precisión electrónica (0,0001 g).

5.5.5. Obtención de la densidad de madera

Con respecto a la obtención de la densidad de madera (D_m) por parte de cada muestra, se empleó una fórmula específica, la cual consiste en dividir el peso seco obtenido, sobre el volumen de cada muestra, como se observa a continuación:

$$D_m = \frac{P_s}{V}$$

En donde:

D_s = Densidad de madera (g/cm³)

P_s = Peso seco (g)

V = Volumen (cm³)

En esta fase se aplicó la técnica de estadística descriptiva, en torno a la recolección de los datos por cada especie forestal.

5.6. Metodología para el objetivo específico 2: Estimar el contenido de C en sitios reforestados utilizando valores de densidad de madera provenientes de campo y de la base de datos publicada.

Para obtener la estimación de carbono aéreo, primero se calculó la biomasa aérea, por medio de la aplicación de modelos o ecuaciones alométricas propuestos por Chave et al. (2014):

$$Biomasa\ aérea\ (AGB) = 0,0673 \times (dm \times DAP^2 \times a)^{0,976}$$

En dónde:

AGB = Biomasa aérea (t/ha)

Dm = Densidad de madera (g/cm³)

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

a = Altura del árbol (m)

Después de obtener la biomasa aérea, este valor se multiplicó por 0,47; de esta manera se pudo obtener los niveles de carbono aéreo bajo las unidades de t/ha (García, 2018; Réjou-Méchain et al., 2017).

Para la comparación frente a una base de datos sobre densidad de madera, se utilizó la base global de Zanne, et al., (2009). La base global (Zanne et al., 2009) no contempla todas las especies o géneros registrados en el área de estudio. Por ende, las especies que fueron encontradas e identificadas en campo, posteriormente se realizó su búsqueda en la base global. De esta manera, se implementaron varias categorías taxonómicas para la obtención del valor de densidad de madera de la base global. Las categorías o niveles taxonómicos corresponden a: especie, género, familia y por último el método propuesto por Réjou-Méchain et al., 2017. La última categoría mencionada corresponde a los casos en donde no se pudo identificar taxonómicamente las especies forestales. Por lo tanto, se obtuvo un promedio tomando en cuenta todos los valores obtenidos con anterioridad en cada parcela (Armijos, 2013; Réjou-Méchain et al., 2017). Por otra parte, también se estableció como un parámetro de selección utilizar solamente valores de densidad de madera ubicados en la región tropical de Sudamérica.

El análisis de los datos se realizó por medio de una comparación de diagramas de barras a nivel de cada provincia utilizando el software R (versión 4.2.1). En donde previamente se estructuró una base de datos en el software Excel con relación a los resultados obtenidos de carbono a nivel de campo junto con el carbono obtenido por parte de la base de datos de Zanne, et al., (2009).

5.7. Metodología para el objetivo específico 3: Evaluar la incertidumbre de las estimaciones de carbono aéreo entre las dos fuentes de información de la densidad de madera.

Con los valores obtenidos de las variables de los objetivos anteriores, se evaluó la incertidumbre de carbono aéreo. Para la cual, se empleó la prueba Shapiro-Wilk para

corroborar los supuestos de normalidad. En el caso de no cumplir los supuestos de normalidad, la transformación logarítmica de los datos provee una alternativa viable. Esto con la finalidad de tratar de que los datos se asemejen lo más posible a la normalidad. Posterior a ello, se realizó una comparación de medias o medianas, por medio de una prueba t de Student, todo esto se llevó a cabo por medio del software R (versión 4.2.1).

5.8. Métodos de Investigación

El presente estudio utilizó métodos de investigación por observación, debido a que se trata de recorridos para determinar el área de establecimiento de las parcelas.

6. Resultados

6.1. Medir la densidad de madera de especies forestales en sitios reforestados.

Los resultados por parte de las 52 parcelas de estudio se obtuvieron 3488 individuos, de los cuales se registró un total de 814 individuos ($DAP \geq cm$) muestreados de acuerdo a la metodología y criterios planteados. Los individuos evaluados a lo largo del estudio pertenecen a 31 familias botánicas, 58 géneros y 91 especies. Adicional a esto, 71 individuos no pudieron ser identificados taxonómicamente. Para la obtención de la densidad de madera se evaluaron un total de 52 parcelas ubicadas en las provincias de Azuay, Cañar, Zamora Chinchipe, Loja y El Oro (Tabla 1).

En el caso de las variables dendrométricas medidas en campo, los valores más altos de DAP se registraron en la provincia de El Oro (rango de 6,4 a 84 cm) y Zamora Chinchipe (rango de 5,3 a 74 cm). Con resultados muy similares, para la altura total de árboles, las provincias de Zamora Chinchipe (rango de 3 a 24 m) y El Oro (rango de 4,6 a 23,3 m) mantienen el registro de los datos más altos. En la provincia de Cañar se reportaron los valores más bajos para DAP (rango de 5 a 17,1 cm) y h (rango de 2,77 a 12,2 m).

El mayor número de individuos se registró en las provincias del Azuay (336 individuos) y Zamora Chinchipe (316 individuos), en 21 y 20 parcelas respectivamente. Continuando con la provincia de Loja (57 individuos) y El Oro (61 individuos), en 5 y 4 parcelas respectivamente. Por último, la provincia de Cañar con el menor número de individuos (44 individuos) y de igual manera el número más bajo de parcelas (2 parcelas).

Por parte de las 91 especies registradas, la provincia de Zamora Chinchipe presentó una alta diversidad de especies (46 especies) frente a las demás provincias. Seguido de las

provincias de Azuay (17 especies), Loja (12 especies) y El Oro (10 especies). La provincia de Cañar es la que presenta el número más bajo de especies (6 especies).

Tabla 1. Características de los sitios monitoreados para la medición de densidad de madera en 52 parcelas permanentes ubicadas en la parte sur del país.

Provincias	Altitud (m.s.n.m.)	Nro. de localidades	Nro. de parcelas	Nro. de especies	Individuos muestreados	DAP (> 5 cm)	h (m)
Azuay	2034 - 3218	5	21	17	336	5 - 38,1	2,16 - 20
Zamora	1002 - 2115	3	20	46	316	5,3 - 74	3 - 24
Loja	803 - 857	1	5	12	57	5,1 - 41,1	3,56 - 14,9
El Oro	718 - 937	1	4	10	61	6,4 - 84	4,6 - 23,3
Cañar	3213 - 3263	1	2	6	44	5 - 17,1	2,77 - 12,2

Con respecto a los valores obtenidos de densidad de madera a nivel de campo, se los agrupó taxonómicamente a nivel de familias (Tabla 2). De esta forma, con el valor más alto de densidad de madera corresponde a la familia Meliaceae con $0,82494 \text{ g/cm}^3$. Seguido de las familias Ericaceae ($0,78489 \text{ g/cm}^3$), Piperaceae ($0,76609 \text{ g/cm}^3$), Salicaceae ($0,71684 \text{ g/cm}^3$), Asteraceae ($0,71134 \text{ g/cm}^3$) y Fabaceae ($0,70046 \text{ g/cm}^3$) con valores muy cercanos entre sí. En el caso del valor más bajo registrado corresponde a la familia Chloranthaceae con una densidad de madera de $0,27432 \text{ g/cm}^3$. Por último, la familia Fabaceae fue la única que estuvo presente en 4 provincias (81 individuos), abarcando 18 parcelas de estudio permanentes.

Tabla 2. Descripción de las principales familias encontradas, número de individuos por familia, densidad de madera (mín y máx) y presencia a nivel de provincia y parcela de estudio.

Familia	Nro. de individuos	DM min	DM max	Provincias	Parcelas
Araliaceae	5	0,36023	0,44442	C	R9
Asteraceae	95	0,25122	0,71134	A, Z, O	R5, R6, R7, R10, R12, R13, R15, R17, R2, R22, R23, R27, R29, R30, R31, R32, R33, R34, R36, R38, R43, R44, R51
Betulaceae	130	0,21042	0,58703	A, C, Z	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R9, R12, R13, R15, R16, R17, R18, R21, R22, R41, R42, R43
Bignoniaceae	4	0,46627	0,50064	A	R13
Celastraceae	1	0,32952	0,32952	O	R53
Chloranthaceae	5	0,2077	0,27432	Z	R34
Clethraceae	1	0,61142	0,61142	Z	R27
Clusiaceae	1	0,55701	0,55701	Z	R38
Ericaceae	3	0,46873	0,78489	A, Z	R1, R39
Escalloniaceae	36	0,24549	0,52446	A, C	R4, R5, R6, R9, R17, R18,
Euphorbiaceae	17	0,14996	0,55352	Z	R26, R27, R31, R37
Fabaceae	81	0,22364	0,70046	A, Z, L, O	R2, R3, R10, R11, R12, R13, R15, R21, R22, R23, R25, R29, R32, R33, R42, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R51
Hypericaceae	39	0,33523	0,59333	Z	R27, R28, R29, R30, R32, R33, R34, R35, R36, R38
Juglandaceae	4	0,34871	0,47995	O	R50, R52

Lauraceae	10	0,31508	0,59482	Z	R26, R29, R39
Malvaceae	29	0,11647	0,67457	Z, L	R25, R30, R32, R35, R36, R41, R43, R45, R47, R48, R49
Melastomataceae e	76	0,28816	0,60055	Z, O	R28, R29, R30, R32, R33, R34, R36, R38, R39, R40, R41, R43, R44, R50, R51, R52, R53
Meliaceae	19	0,1634	0,82494	Z, L	R25, R28, R30, R46, R47, R49
Moraceae	13	0,27037	0,49616	Z, L	R30, R31, R46, R48, R49
Muntingiaceae	1	0,34216	0,34216	L	R49
Myricaceae	47	0,3719	0,60694	A	R10, R11, R12, R14, R22
Myrtaceae	8	0,463	0,63179	Z, L	R35, R45, R48
Piperaceae	2	0,22774	0,76609	O	R51
Polygonaceae	3	0,27942	0,33506	L	R46
Primulaceae	14	0,30177	0,56936	Z	R37, R38, R39, R40
Proteaceae	1	0,37299	0,67148	A	R21
Rosaceae	86	0,50555	0,50555	A, C, Z	R8, R16, R18, R19, R24,
Rubiaceae	5	0,38822	0,69161	Z	R40
Salicaceae	1	0,416	0,71684	A	R3
Solanaceae	1	0,32678	0,32678	Z	R35
Urticaceae	6	0,3344	0,3344	Z	R26, R26, R33

N/A	70	0,19739	0,32432	A, C, Z, L, O	R1, R5, R7, R9, R16, R18, R19, R21, R22, R25, R26, R28, R37, R43, R44, R47, R48, R50, R51, R52, R53
-----	----	---------	---------	---------------	--

Nota. La columna provincia está representada por las letras A (Azúay), C (Cañar), Z (Zamora Chinchipe), L (Loja) y O (EL Oro), las cuales representan la ubicación geográfica de cada familia.

Se consideraron las variables de DAP, altura y densidad de madera para elaborar una matriz de correlación para explorar la relación entre las principales variables dasométricas (DAP, altura) y la densidad de madera. (Tabla 3). El diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura del árbol tienen una alta correlación entre sí. Sin embargo, ambas variables muestran una correlación inversa con la densidad de la madera, lo que se refleja en valores negativos obtenidos a nivel de campo. Por lo tanto, no hay una correlación significativa entre el DAP y la altura del árbol en relación a la densidad de la madera.

Tabla 3. Matriz de correlación entre el DAP (> 5 cm), altura y la densidad de madera.

	DAP	h	DM
DAP	1,0000000	0,6586394	-0,1022538
h	0,6586394	1,0000000	-0,2062115
DM	-0,1022538	-0,2062115	1,0000000

6.2. Estimar el contenido de carbono aéreo en sitios reforestados utilizando valores de densidad de madera provenientes de campo y de bases de datos de información global.

Con respecto a la estimación del contenido de carbono aéreo se utilizaron dos valores de densidades de madera. El primero, corresponde a la densidad de madera obtenida a nivel de campo, mediante el método por desplazamiento de agua y el segundo, corresponde a los valores obtenidos de la base global de Zanne et al., 2009. Se utilizó la ecuación alométrica propuesta por Chave et al. (2014) para la obtención de biomasa aérea.

Por otro lado, para la selección de los valores de densidad de madera obtenidos de la base global (Zanne et al., 2009) se establecieron varios niveles de selección taxonómica. Esto se debe a que dentro de la base global no se encuentran todas las especies reportadas en este estudio. Por consiguiente, el primer nivel correspondió al de especie (375 individuos), el segundo nivel al de género con 184 individuos, el tercer nivel de familia con 182 individuos y finalmente para los individuos que no pudieron ser identificados taxonómicamente, se obtuvo su valor por medio del método descrito por Réjou-Méchain et al. (2017), que consiste en asignar el valor promedio de densidad de madera de una parcela, a los individuos sin clasificación taxonómica. Bajo esta metodología se asignó el valor de densidad de madera para 71 individuos.

La mayor diferencia se encontró entre la biomasa estimada utilizando valores de densidad de madera a nivel de familia. En este caso, la especie *Zinowiewia integerrima* perteneciente a la familia Celastraceae, obtuvo una diferencia de 5,2 t/ha con respecto al carbono obtenido con los valores de densidad de madera reportados por Zanne et al., 2008 frente a los valores colectados en campo. Sin embargo, las variaciones de los demás individuos no superan 1 t/ha de diferencia entre sí. Asimismo, el nivel de género presentó variaciones de 2,31 y 3,55 t/ha para la especie *Croton lechleri* y *Ficus sp* respectivamente por parte del carbono obtenido con valores de densidad de madera colectados en campo frente a los valores de Zanne et al., 2008. De igual forma, especies como *Alchornea glandulosa* y *Miconia sp* presentaron valores de 1,2 y 1,6 t/ha de variación con respecto al carbono estimado con los valores de densidad de madera reportados por Zanne et al., 2008 frente a los valores colectados en campo. Seguido por el método propuesto por Réjou-Méchain et al. (2017) cuando no existen datos disponibles para la especie (densidad de madera promedio en la parcela). Para este método, existió una variación de 3,35 t/ha por parte del carbono obtenido con valores de densidad de madera recolectados en campo frente a los valores reportados por Zanne et al., 2008. Asimismo, otras variaciones encontradas oscilan entre 1,2 t/ha hasta 1,77 t/ha por parte del carbono estimado con valores de densidad de madera por parte de Zanne et al., 2008 frente a los valores colectados en campo, siendo así el nivel que más variaciones presentó. Finalmente, a nivel de especie las variaciones fueron mínimas, dichas variaciones no sobrepasaron las 0,6 t/ha con respecto a los valores de densidad de madera reportados tanto por Zanne et al., 2008 como a los valores colectados en campo (Figura 5).

Comparación de carbono aéreo

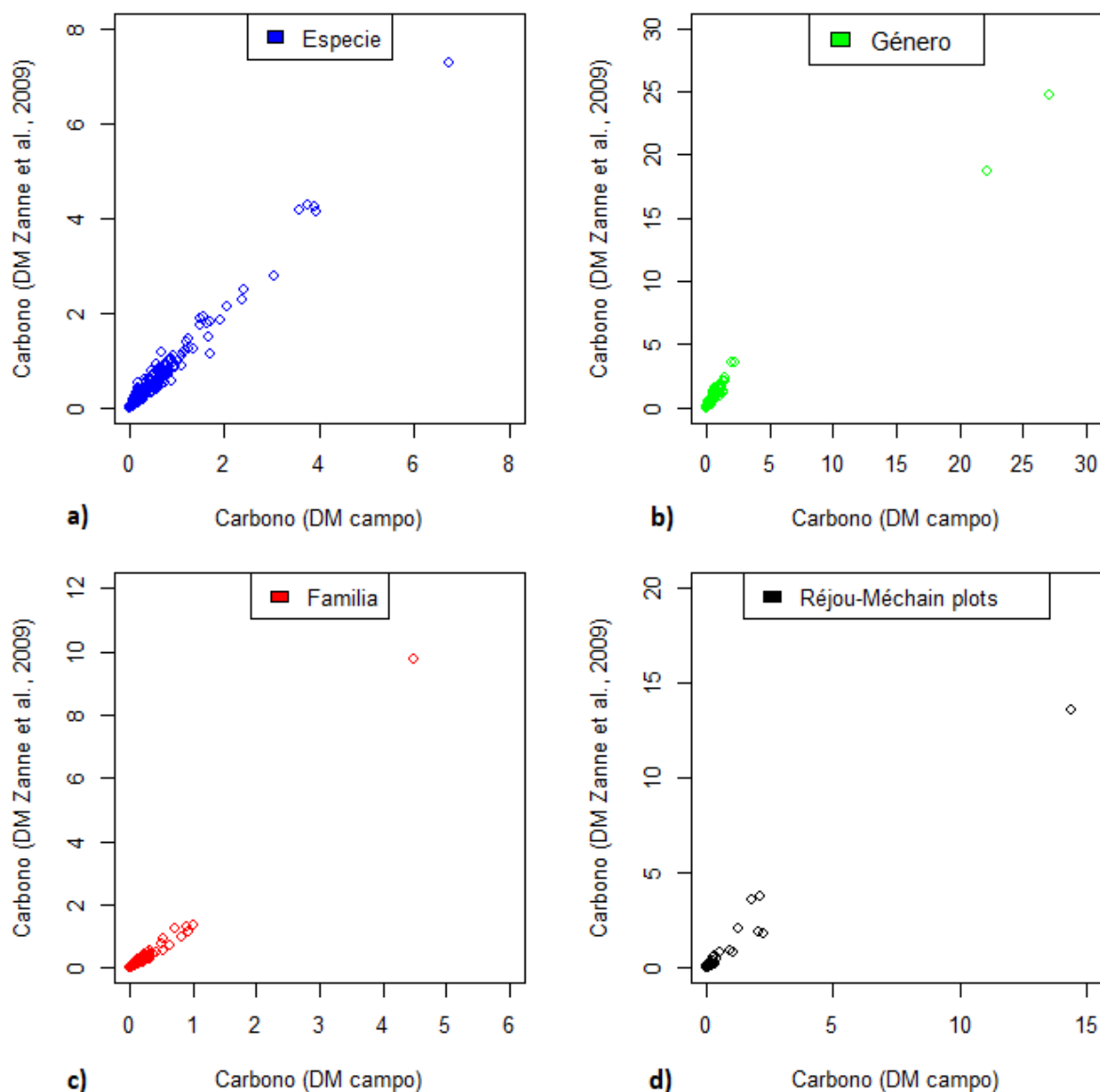


Figura 5. Comparación de carbono aéreo (t/ha) por medio de un gráfico de correlación entre los valores obtenidos a nivel de campo frente a Zanne et al., 2009.

6.2.1. Estimación de carbono aéreo en la provincia del Azuay

En la provincia de Azuay (Figura 6), de las 21 parcelas permanentes de estudio, en la parcela R2 se reportó un contenido de carbono aéreo de 11,18 t/ha, utilizando valores de densidad de madera colectados en campo, mientras que para los cálculos utilizando los valores reportados en Zanne, et al., 2009, se obtuvo 11,06 t/ha. La diferencia entre los dos valores representa un 1% para valores calculados con Zanne et al., 2009 y valores obtenidos en campo. La menor diferencia en carbono en parcela bajo los dos métodos, se reportó en la

parcela R4, la cual presenta 0,48 t/ha a nivel de campo y 0,50 t/ha utilizando valores reportados en Zanne, et al., 2009, esto representa una diferencia del 3,5 %.

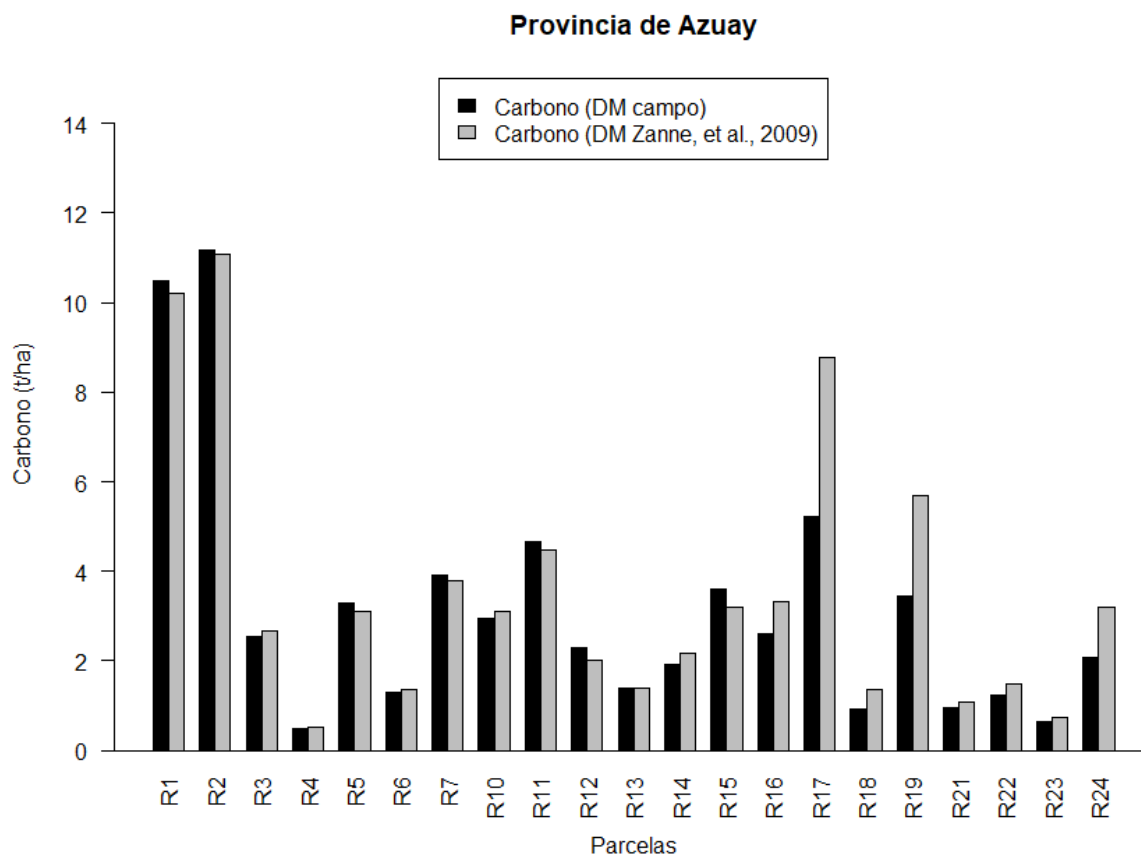


Figura 6. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de Azuay, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.

6.2.2. Estimación de carbono aéreo en la provincia de Cañar

En la provincia de Cañar (Figura 7), de las 2 parcelas permanentes de estudio, en la parcela R9 reportó la mayor cantidad de carbono con 5,07 t/ha utilizando valores de densidad de madera recolectados a nivel de campo, con referencia a Zanne, et al., 2009, se obtuvo 5,25 t/ha. La diferencia presentada entre ambos valores presenta solamente un 3 % para los valores obtenidos con Zanne, et al., y valores recolectados en campo. Por otra parte, la menor diferencia de carbono aéreo lo reportó la parcela R8, la cual presenta 2,98 t/ha a nivel de campo y 5,08 t/ha con relación a los valores reportados por Zanne, et al., 2009, esto representa un 70% de disimilitud entre los dos valores.

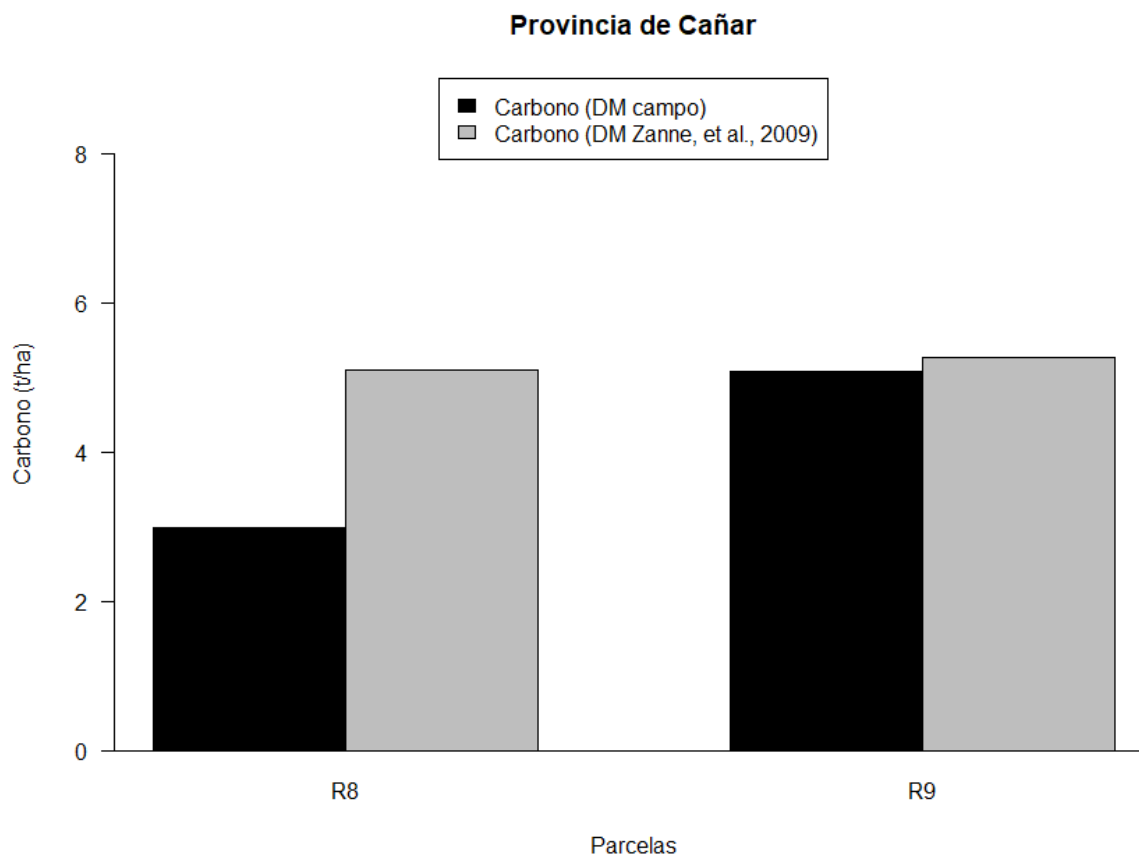


Figura 7. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de Cañar, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.

6.2.3. Estimación de carbono aéreo en la provincia de Zamora Chinchipe

En la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 8), de las 20 parcelas de estudio permanentes, en la parcela R31 presentó 70,49 t/ha de carbono empleando los valores a nivel de campo y 67,35 t/ha considerando los valores reportados por Zanne, et al., 2009. La diferencia entre ambos valores es del 4% para los valores obtenidos con Zanne, et al., y valores recolectados en campo. Continuamente, en la parcela R29 registró un contenido de carbono aéreo de 14,98 t/ha, utilizando valores recolectados a nivel de campo y 16,97 t/ha, empleando valores reportados por Zanne, et al., 2009, esto representa una diferencia del 13%. La menor diferencia de carbono aéreo bajo ambos métodos, se reportó en la parcela R42, la cual presenta 0,26 t/ha a nivel de campo y 0,33 t/ha con respecto a los valores reportados por Zanne, et al., 2009, esto representa una diferencia del 26%.

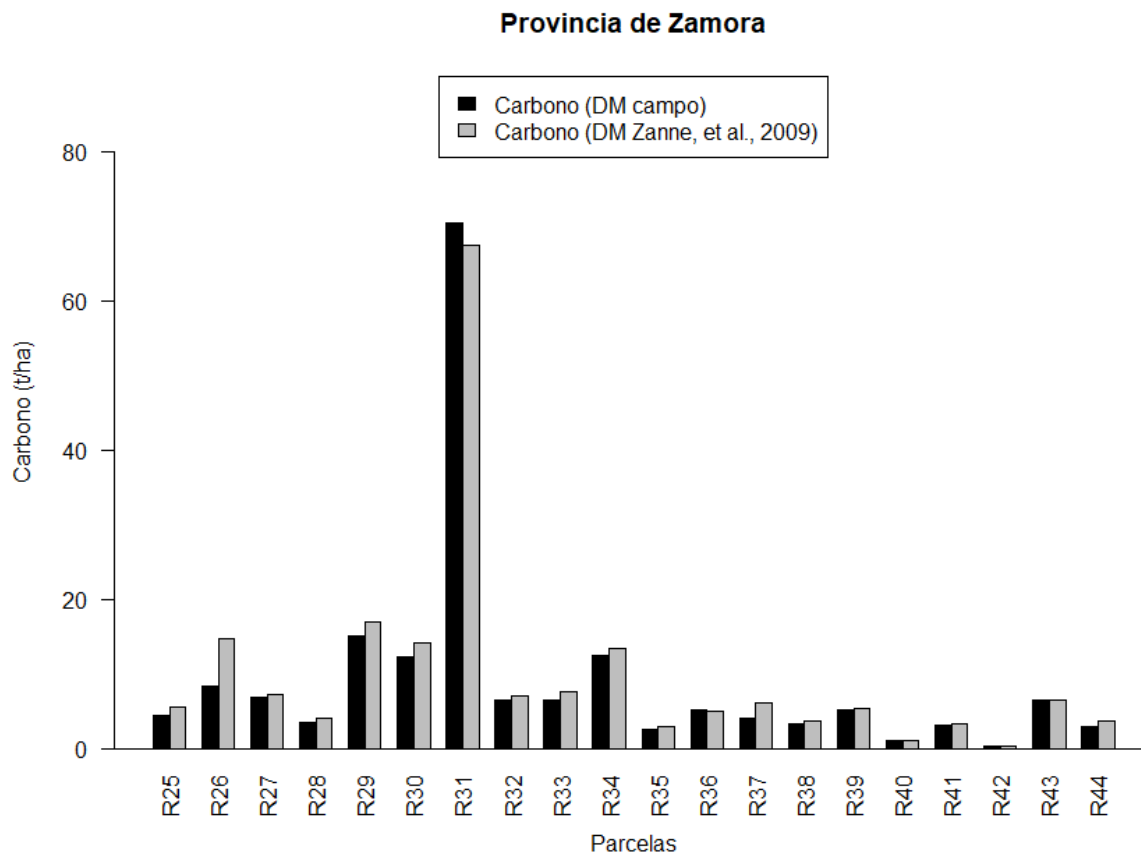


Figura 8. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de Zamora Chinchipe, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.

6.2.4. Estimación de carbono aéreo en la provincia de Loja

En la provincia de Loja (Figura 9), de las 5 parcelas permanentes de estudio, en la parcela R49 presentó los valores de carbono aéreo más altos de 8,05 t/ha utilizando los valores colectados en campo y 8,7 t/ha en referencia a los valores obtenidos por Zanne et al., 2009, esto implica una diferencia del 8,12 %. La menor diferencia entre ambos valores los reportó la parcela R45, la cual presenta 2,11 t/ha a nivel de campo y 2,07 t/ha usando valores obtenidos por Zanne et al., 2009, esto representa una diferencia de 1,5%.

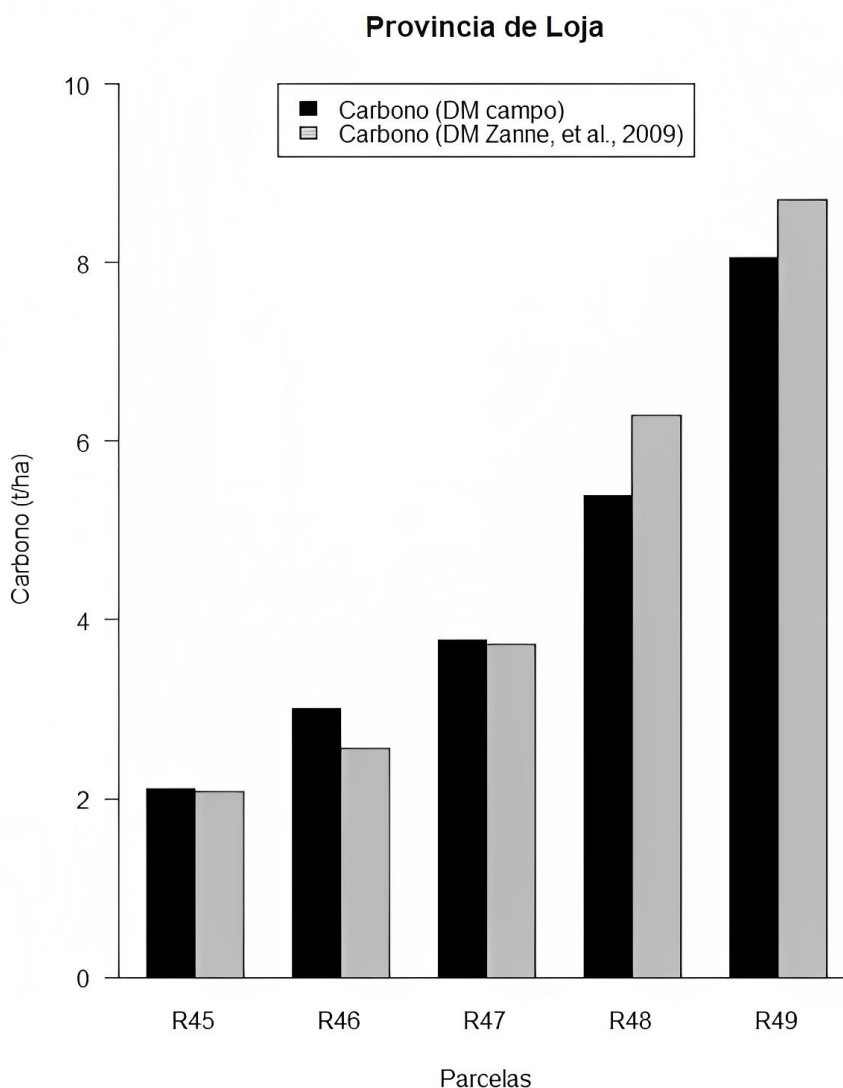


Figura 9. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de Loja, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.

6.2.5. Estimación de carbono aéreo en la provincia de El Oro

En la provincia de El Oro (Figura 10), de las 4 parcelas permanentes de estudio, en la parcela R51 se reportaron los valores de carbono aéreo más altos frente a otras provincias. En el caso de los valores colectados en campo reportó 22,1 t/ha, mientras que para los cálculos utilizando los valores obtenidos por parte de Zanne et al., 2009 reportó 25,7 t/ha, esto representa una diferencia del 17%. Por otro lado, en la parcela R53 se reportó 8,87 t/ha de carbono aéreo empleando los valores de campo, mientras que para los cálculos utilizando valores reportados por Zanne et al., 2009 se registró 17,43 t/ha. La diferencia entre ambos valores representa un aumento del 96%, casi el doble de diferencia. En cuanto a la parcela R52 también presenta una diferencia considerable entre ambos valores de un 73%. Los

valores de densidad de madera colectados a nivel de campo registraron 6,31 t/ha, mientras que los valores obtenidos por Zanne et al., 2009 reportó 10,9 t/ha. La menor diferencia de carbono aéreo en parcela bajo ambos métodos, se reportó en la parcela R50, la cual presenta 4,83 t/ha a nivel de campo y 6,62 t/ha utilizando valores reportados en Zanne et al., 2009, esto representa una diferencia del 37%.

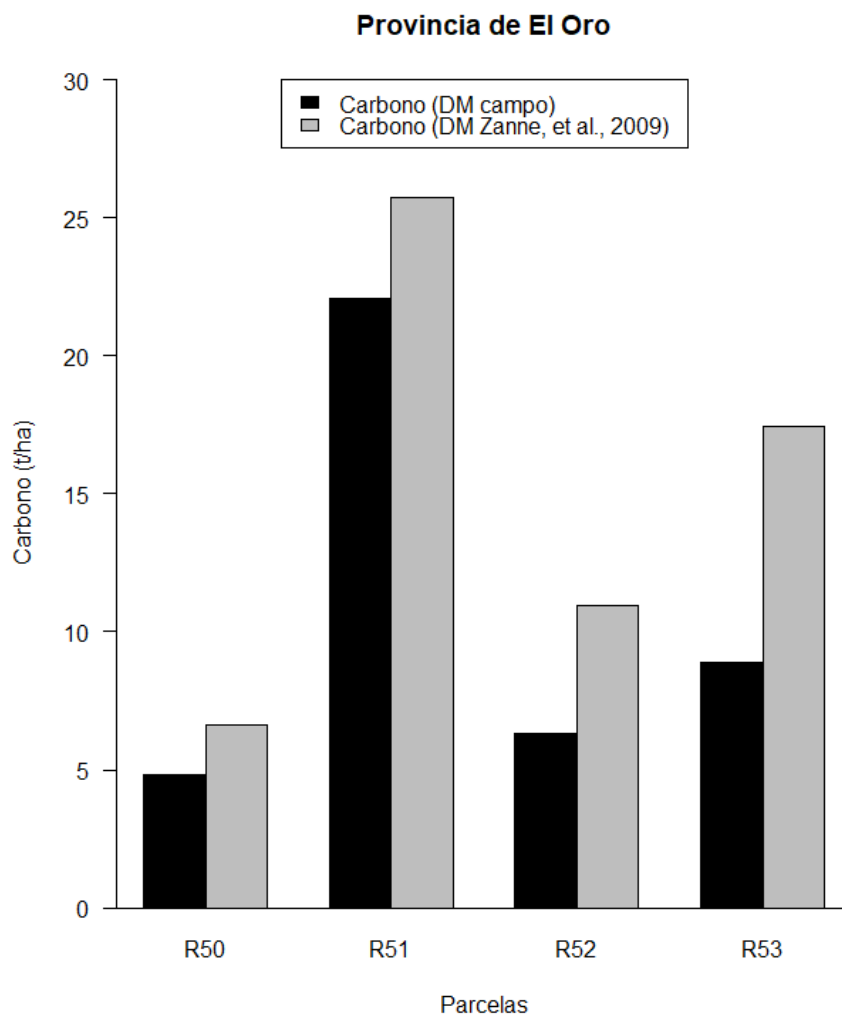


Figura 10. Estimación y comparación de carbono aéreo (t/ha) a nivel de parcela en la provincia de El Oro, con valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009.

6.3. Evaluar la incertidumbre de las estimaciones de carbono aéreo entre las dos fuentes de información de la densidad de madera.

Para determinar la incertidumbre de carbono aéreo, se obtuvo la sumatoria de los valores de carbono aéreo a nivel de parcela. Para ello, inicialmente se obtuvo la diferencia entre los valores de Zanne et al., 2009 frente a nivel de campo en este orden respectivo. Seguido de

la transformación porcentual, en donde se multiplicó la diferencia obtenida por 100, continuamente se realizó la división para los valores obtenidos en campo.

Conforme a los valores más altos acerca de la sobreestimación de carbono aéreo, esto se realizó a nivel de provincia. Inicialmente la provincia del Azuay registra en las parcelas R17 y R19, el 68 % y 65 % correspondientemente. Continuamente está la provincia de Cañar con la parcela R8 representada con el 70%. En relación a la provincia de Zamora Chinchipe presentó los valores más altos en las parcelas R26 (77%) y R37 (51%). Por otro lado, en la provincia de Loja la parcela R48 (17%) presentó los valores más altos. Finalmente, la provincia de El Oro, la cual anteriormente presentó los valores más altos de carbono aéreo, también presentó el valor de sobreestimación más alto frente a las demás provincias, por parte de la parcela R53 (96%), seguido de la parcela R52 con el 73%.

En cuanto a los valores más representativos acerca de la subestimación de carbono aéreo realizado a nivel de provincia. Azuay registró en las parcelas R12 y R15 el 12 %. En el caso de la provincia de Cañar, al tener solamente 2 parcelas permanentes de estudio no presentó valores de subestimación. Por parte de la provincia de Zamora Chinchipe presentó solamente dos parcelas R36 (77%) y R31 (51%) con valores de subestimación. Mientras que en la provincia de Loja la parcela R48 (17%) presentó los valores más altos de subestimación. Finalmente, la provincia de El Oro, tampoco presentó valores subestimados de carbono aéreo.

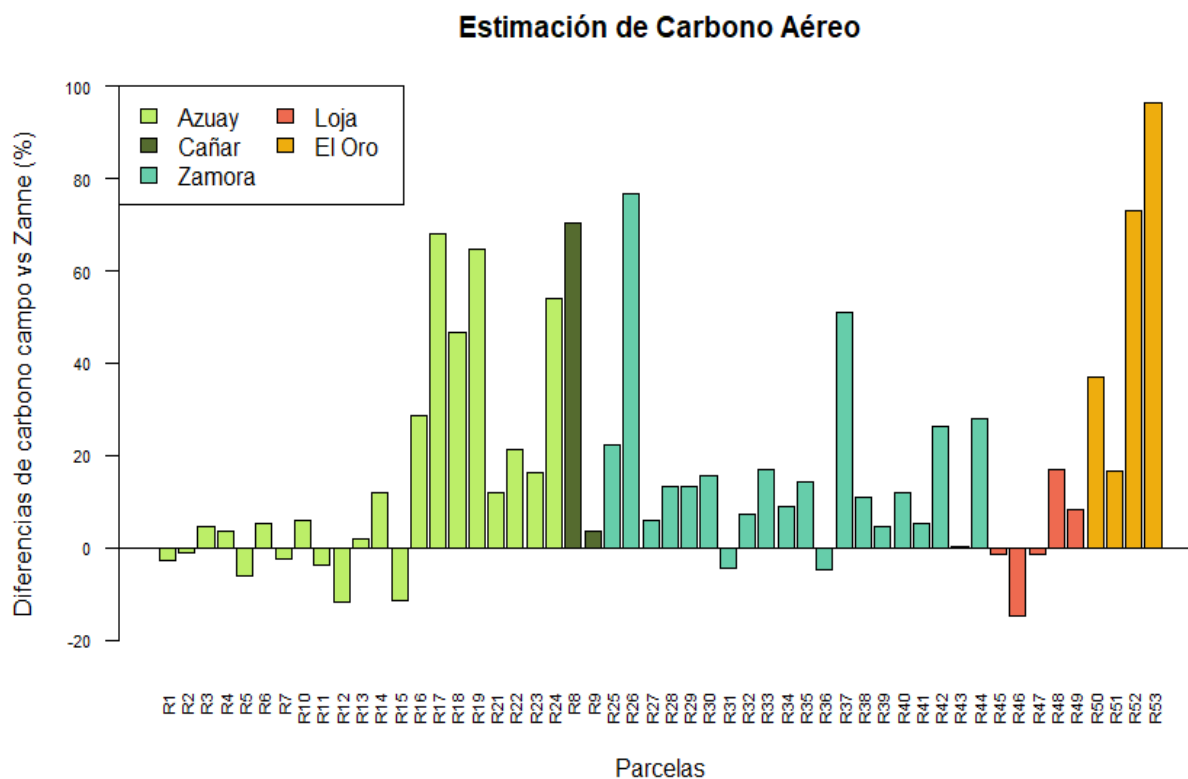


Figura 11. Diagrama de barras sobre el porcentaje de subestimación y sobrestimación presentado por parte de los valores obtenidos en campo frente a Zanne et al., 2009 a nivel de provincia.

En cuanto al análisis estadístico realizado en las parcelas de estudio de cada provincia, Azuay y Zamora Chinchipe no cumplieron con los supuestos de normalidad por medio de la prueba Shapiro–Wilk ($p < 0,05$). Para lo cual, se realizó la transformación logarítmica para reducir la asimetría presentada por los datos. Esto permitió que los datos cumplan con los supuestos de normalidad, junto con las demás provincias ($p = > 0,05$). En el caso de la comparación de medias, esta se obtuvo por medio de una prueba t-student entre los datos provenientes de campo con respecto a los datos de densidad de madera reportados por Zanne et al., 2009. El resultado tras la comparación de medias a nivel de provincia indica que si existieron diferencias significativas en las provincias de Azuay ($p < 0,05$), Zamora Chinchipe ($p < 0,05$) y El Oro ($p < 0,05$). Por otro lado, la provincia de Loja no presentó diferencias significativas y por último, la provincia de Cañar no fue considerada en este análisis, al no presentar un número de repeticiones significativas (Tabla 4).

Tabla 4. Estadístico de comparación de medias por medio de una prueba t-student para las variables de carbono aéreo evaluadas.

Provincia	T-valor	gl	<i>p</i> - valor	Intervalo de confianza (%)	Diferencia de medias	N
Sumatoria total	-5,2935	51	< 0,05	95%	1,382056	104
Azuay	- 2,418	19	< 0,05	95%	-0,1005654	42
Zamora Chinchipe	-4,4724	39	< 0,05	95%	-0,1524013	40
Loja	0,16266	4	> 0,05	95%	0,003025372	10
El Oro	-3,2587	3	< 0,05	95%	-0,7450727	8

7. Discusión

La reforestación es considerada una estrategia efectiva de mitigación contra el cambio climático, debido a que los árboles capturan y almacenan carbono en su biomasa. Sin embargo, es necesaria su cuantificación y seguimiento a lo largo del tiempo (Mohd Zaki & Abd Latif, 2017; Csillik et al., 2019).

En este estudio se presentaron diferencias significativas en las provincias de Azuay, Zamora Chinchipe y El Oro en cuanto al contenido de carbono aéreo calculado por valores de densidad de madera provenientes de campo frente a los valores reportados por Zane et al., 2009. Los valores de densidad de madera disponibles por parte de Zanne et al., 2009, son una alternativa viable cuando los datos no son levantados en campo. Sin embargo, la obtención de valores de densidad de madera desconocidos, conlleva imprecisiones en sus valores, provocando la subestimación o sobreestimación en el cálculo de carbono aéreo en bosques tropicales (Qie et al., 2017; Sullivan et al., 2017). Es por ello, que Réjou-Méchain et al. (2017) menciona que cuando se emplean valores de densidad de madera por encima del nivel de género, es decir, valores provenientes del nivel de familia o por medio del cálculo de promedios a nivel de parcela, los valores son generalmente pobres y ocasionan variaciones en las estimaciones. En cambio, al utilizar valores de densidad de madera de la misma especie, es probable que se encuentre una menor variación intraespecífica. También, la edad de los árboles y los factores ambientales del lugar pueden influir en los valores de densidad de la madera frente a los reportados por Zanne et al., 2009 (Sungpalee et al., 2009; Yepes, et al., 2015; MAE, 2015). Por otro lado, Feldpausch et al. (2011) refiere que el cálculo de biomasa aérea por medio de ecuaciones alométricas siempre conlleva imprecisiones.

En cuanto al contenido de carbono aéreo evaluado, la provincia de Zamora Chinchipe presentó el mayor contenido de carbono en la parcela R31 con 70,49 t/ha de carbono aéreo, por medio de valores de densidad de madera recolectados en campo, frente a 67,35 t/ha de C empleado los valores reportados por Zanne et al. (2009). Alvarado (2022), reportó en sus resultados el doble de contenido de carbono aéreo por parte de su estudio en un bosque siempre verde piemontano en la misma provincia. Por otra parte, la provincia de Azuay reporta un contenido de carbono aéreo de 11,18 t/ha en la parcela R2, en comparación con los 11,06 t/ha por parte de los valores de densidad de madera reportados por Zanne et al., 2009. Es necesario considerar que en la parcela R2, la especie *Alnus acuminata* presentó la mayor cantidad en contenido de carbono aéreo con 10,61 t/ha, lo cual está relacionada con el estudio elaborado por Fluker & Sánchez, (2016), al obtener menos de la mitad (4.72 t/ha) con lo reportado en el presente estudio. En la provincia de Loja, la parcela R49 presentó 8,05 t/ha de carbono aéreo a nivel de campo, frente a 8,7 t/ha de carbono aéreo por parte de los valores de densidad de madera de Zanne et al., 2009. En la parcela de interés, se encontró que la especie *Cedrela odorata* presentó una cantidad de 3,03 t/ha de carbono aéreo a nivel de campo. Aguirre (2017), realizó un estudio similar en la misma provincia y obtuvo un valor muy bajo (0,0525 t) con respecto a lo reportado por la especie. De igual forma en la provincia de El Oro, la parcela R51 reportó 22,1 t/ha en contenido de carbono a nivel de campo, a comparación con Zanne et al. (2009), el cual registró 25,7 t/ha. Maza (2019), estimó el contenido de biomasa aérea en la reserva de Buenaventura en la provincia de El Oro, reportando un valor promedio de carbono aéreo (35,79 t/ha) no muy lejano al del presente estudio. Finalmente, en la provincia de Cañar se reportó 5,07 t/ha de carbono aéreo en la parcela R9 a nivel de campo, mientras que por parte de los valores de densidad de madera reportados por Zanne et al., 2009, presentó 5,25 t/ha. La especie *Alnus acuminata* presentó la mayor captura de carbono aéreo con 3,94 t/ha en la parcela de estudio, en comparación con un estudio realizado en México por Avendaño et al. (2019), en donde obtuvieron cuatro veces más (12,55 t/ha) del valor registrado en la presente investigación.

En cuanto a la distribución florística, la familia Fabaceae estuvo presente en la mayoría de provincias. Esto se debe a ciertas características propias de la familia, como lo es: su alto endemismo, fácil reproducción, adaptación altitudinal y a distintas condiciones edáficas, resistencia a la sequía y también, soportar altos regímenes de precipitación (Torrescano-valle & Folan, 2015). Estos resultados son similares con los de Baptiste et al., (2019) en un bosque seco estacional tropical en la península de Yucatán. Las parcelas de estudio están ubicadas en áreas reforestadas y en etapas de sucesión. Identificando que la mayor parte de especies pertenecían a la familia Fabaceae en 32 parcelas de estudio.

Con respecto a la abundancia de especies, la familia Betulaceae obtuvo la mayor representatividad (130 individuos). Kooijman & Sevink (2002), menciona que registraron mayoritariamente la presencia de las especies de *Alnus acuminata* (Betulaceae) junto con *Polylepis incana* H.B.K. (Rosaceae) en bosques secundarios en los Andes. Asimismo, Bare & Ashton (2015) evaluaron 12 zonas reforestadas en un bosque montano de los Andes tropicales en Ecuador y Colombia, identificando varias especies autóctonas, entre ellas, *Alnus acuminata*. Esta especie fue mayormente plantada y la que mayor supervivencia presentó, por lo cual representó el 44% de los árboles muestreados de las 45 especies autóctonas estudiadas. (Cavelier, 1995)

Por otro lado, el valor más alto de densidad de madera, lo presentó la familia Meliceae (0,82494 g/cm³), conformada principalmente por el género *Cedrela*. Este resultado es similar a lo reportado por Strubbe (2013), en donde la especie *Cedrela montana* presentó un valor de 0,814 g/cm³. Este estudio se realizó en las provincias de Pichincha e Ibarra en áreas reforestadas presentes un bosque nuboso montano tropical y con una edad casi similar (12 años) a las parcelas del presente estudio en el norte del Ecuador. Los resultados pueden deberse a la relación existente entre la edad de los árboles y el incremento de la densidad de madera, esta relación es opuesta a medida que aumenta la densidad de individuos (Alfaro et al., 2019; Obara et al., 2004). En este sentido la familia es descrita como una de las maderas más duras y pesadas en el mundo (Luchi, 2011).

Conclusiones

En la presente investigación, las variaciones de carbono aéreo estimado por medio de valores de densidad de madera colectados a nivel de campo y por parte de la base global, presentaron diferencias significativas en las provincias de Azuay, Zamora Chinchipe y El Oro. Sin embargo, la base global de Zanne et al. (2009) es una buena alternativa cuando no existe información primaria. Para ello, hay que considerar que en este estudio el 59,6% de las parcelas presentaron una diferencia +/-10% con respecto a los valores de densidad de madera en campo. Cuando se consideró una diferencia del 25% entre lo calculado utilizando valores proporcionados por Zanne et al., 2009, con respecto a los valores medidos en campo, se encontró que el 25% de las parcelas estudiadas presentaron diferencias superiores a este umbral

El uso de valores de densidad de madera de datos globales conlleva imprecisiones en el cálculo de carbono aéreo. Estas variaciones ocurren por múltiples variables como: el uso de valores de densidad de madera superiores a género o valores promedios, edad de los árboles, factores ambientales, entre otras. Asimismo, el uso de ecuaciones alométricas conlleva imprecisiones en la estimación de carbono aéreo, sin embargo, su uso presenta una buena alternativa, y hasta el momento, la única, para calcular contenido de carbono en masas forestales.

Recomendaciones

Para la estimación del volumen en verde de las muestras de madera, se recomienda emplear el método por desplazamiento del agua. Esto disminuye errores, al permitir emplear un número alto de muestras sin presentar variaciones en su precisión.

Actualmente en el país existe muy poca información que trate sobre la densidad de madera, biomasa y carbono aéreo en sitios reforestados. Esto genera una problemática sobre la toma de decisiones a futuro o la comprensión sobre los servicios ecosistémicos que están ejerciendo.

Por parte de las bases globales, es necesario que se incluyan ciertos datos y medidas como la edad del árbol, DAP o h en la descripción de los valores de densidad de madera, de esta forma, la estimación de carbono aéreo puede acercarse a la realidad del lugar donde se requiere su cuantificación.

Referencias

- Aguirre, N. (2017). *Captura de Carbono en el compartimiento leñoso del bosque seco en la provincia de Loja con perspectivas de mercado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Alvarado, B. (2022). *Diversidad florística y estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor – Kutukú, parroquia Timbara, provincia de Zamora Chinchipe*. Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/25640/1/Bertha%20Nathaly%20Alvarado%20Sarango.pdf>
- Arévalo, C. (2015). *Medición de carbono del estrato arbóreo en un área del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Armijos, D. (2013). *Construcción de Tablas Volumétricas y Cálculo de Factor de Forma (FF.) para Dos Especies, Teca (Tectona grandis) y Melina (Gmelina arborea) En Tres Plantaciones de La Empresa Reybanpac Ca. En La Provincia de Los Ríos*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Avendaño-Yáñez, María de la Luz, Sánchez-Velásquez, Lázaro Rafael, Martínez-Ramírez, Daniela, Perroni, Yareni, Ibarra-Zavaleta, Sara Patricia, Alarcón, Enrique, & Pineda-López, María del Rosario. (2019). Almacén de carbono en biomasa aérea de plantaciones experimentales con especies de sucesión temprana del bosque mesófilo de montaña. *Botanical Sciences*, 97(1), 82-88. <https://doi.org/10.17129/botsci.2031>
- Bendix, J., Beck, E., Bräuning, A., Makeschin, F., Mosandl, R., Scheu, S., & Wilcke, W. (2013). Ecosystem Services, Biodiversity and Environmental Change in a Tropical Mountain Ecosystem of South Ecuador. *Ecological Studies*, 221, 1–434. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38137-9>
- Busch, J., Engelmann, J., Cook-Patton, SC *et al.* Potencial para la eliminación de dióxido de carbono a bajo costo a través de la reforestación tropical. *Nat. Climate Chang.* 9, 463–466 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0485-x>
- Cavelier, J. (1995). Reforestation with the Native Tree *Alnus acuminata*: Effects on Phytodiversity and Species Richness in an Upper Montane Rain Forest Area of Colombia. *Springer*, 125-137. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2500-3_7

- Chave J, Condit R, Aguilar S, Hernandez A, Lao S, Perez R (2004) Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philos Trans R Soc Lond Ser B: Biological Sciences* 359(1443):409–420
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Chave, J. (2006). *Measuring Wood Density for Tropical Forest Trees a Field Manual*. Toulouse: Sixth Framework Programme.
- Chave J, Coomes D, Jansen S, Lewis SL, Swenson NG, Zanne AE (2009) Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecol Lett* 12(4):351–366
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, MS, Delitti, WB, ... & Vieilledent, G. (2014). Modelos alométricos mejorados para estimar la biomasa aérea de árboles tropicales. *Biología del cambio global*, 20 (10), 3177-3190.
- Costandache, C., Dinca, L., Popovici, L., & Tudor, C. (2019). The role of forest vegetation in the mitigation of the ecological imbalances resulting from climate change in the Putna-Vrancea river basin. *International Symposium «The Environmental and The Industry*, 98-106. <https://doi.org/10.21698/simi.2019.fp13>
- Cramer, W., Bondeau, A., Schaphoff, S., Lucht, W., Smith, B., & Sitch, S. (2004). Tropical forests and the global carbon cycle: Impacts of atmospheric carbon dioxide, climate change and rate of deforestation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 359(1443), 331-343. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1428>
- Csillik, O., Kumar, P., Mascaró, J., O'Shea, T., & Asner, G. P. (2019). Monitoring tropical forest carbon stocks and emissions using Planet satellite data. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54386-6>
- Cuenca, M. E., Jadán, O., Cueva, K., & Aguirre, C. (2014). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 4(1), 21-31.

- Da Silva, A., Maretti, C., Lawrence, K., Charity, S., & Oliveira, D. (2014). *Deforestation Fronts in the Amazon Region: Current Situation and Future Trends a preliminary summary*. World Wildlife Fund.
- De Costa, W. A. J. M. (2011). Reviewa review of the possible impacts of climate change on forests in the humid tropics. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 39(4), 281–302. <https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v39i4.3879>
- Díaz, F. (2017). *Estimación del carbono aéreo almacenado y su relación con factores ambientales, en tres paisajes boscosos centroamericanos* [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8640>
- Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., & Etchevers, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl . et Cham. *Madera y Bosques*, 13(1), 25–34. http://www1.inecol.edu.mx/myb/resumeness/13.1/MB_2007_13-1_025-034.pdf
- Duque, A., Peña, M. A., Cuesta, F., González-Caro, S., Kennedy, P., Phillips, O. L., Calderón-Loor, M., Blundo, C., Carilla, J., Cayola, L., Farfán-Ríos, W., Fuentes, A., Grau, R., Homeier, J., Loza-Rivera, M. I., Malhi, Y., Malizia, A., Malizia, L., Martínez-Villa, J. A., ... Feeley, K. J. (2021). Mature Andean forests as globally important carbon sinks and future carbon refuges. *Nature Communications*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22459-8>
- Epstein, R; Rogers, C. 2004. Inside the greenhouse: the impact of CO2 and climate change on public health in the inner city (en línea). Boston, US. The Center for Health and the Global Environment. The Center for health and the global environment-Harvard medical school. Disponible en: <http://docs.niwa.co.nz/library/public/EpsteinP.pdf>
- Feldpausch, T. R., Banin, L., Phillips, O. L., Baker, T. R., Lewis, S. L., Quesada, C. A., Affum-Baffoe, K., Arets, E. J. M. M., Berry, N. J., Bird, M., Brondizio, E. S., De Camargo, P., Chave, J., Djangbletey, G., Domingues, T. F., Drescher, M., Fearnside, P. M., França, M. B., Fyllas, N. M., ... Lloyd, J. (2011). Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences*, 8(5), 1081–1106. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1081-2011>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, & Programme, U. N. E. (2020). *The State of the World's Forests 2020: Forests, biodiversity and people*. Food & Agriculture Org.

- Friedlingstein, P., Allen, M., Canadell, J. G., Peters, G. P., & Seneviratne, S. I. (2019). Comment on “The global tree restoration potential.” *Science*, 366(6463), 76–79. <https://doi.org/10.1126/science.aay8060>
- García, A. (2018). *Estimación del Carbono Almacenado en Reforestaciones con Roturación de suelo en la mixteca alta de Oaxaca*. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Gregory, J. M., Jones, C. D., Cadule, P., & Friedlingstein, P. (2009). Quantifying carbon cycle feedbacks. *Journal of Climate*, 22(19), 5232-5250.
- Hermoso, E. (2001). *Caracterización mecánica de la madera estructural de Pinus sylvestris L.* Universidad Politécnica de Madrid.
- IPCC (Intergubernamental Panel Climate Change). 2001. Anexo B: glosario de terminus del IPCC (en línea). Consultado 27 oct 2015. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. *Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*, 4, 1-93.
- IPCC. (2022). Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change Summary for Policymakers (SPM). In *Cambridge University Press* (Issue 1). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Ipinza, R., & Barros, S. (2011). *El cambio climático, los bosques y la silvicultura*. Instituto Forestal Chile (INFOR). <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/18789>
- Jadán, O., Cedillo, H., Zea, P., Quichimbo, P., Peralta, Á., & Vaca, C. (2016). Relación entre deforestación y variables topográficas en un contexto agrícola ganadero, cantón Cuenca. *Bosques Latitud Cero*, 14.
- Keeling, C. D. (1973). The carbon dioxide cycle: Reservoir models to depict the exchange of atmospheric carbon dioxide with the oceans and land plants. *Chemistry of the lower atmosphere*, 251-329.
- Kerfriden, B., Bontemps, J.-D., & Leban, J.-M. (2021). Variations in temperate forest stem biomass ratio along three environmental gradients are dominated by interspecific differences in wood density. *Plant Ecology*, 222(3), 289–303. <https://doi.org/10.1007/s11258-020-01106-0>
- Kimberley, M. O., Cown, D. J., McKinley, R. B., Moore, J. R., & Dowling, L. J. (2015). Modelling variation in wood density within and among trees in stands of New Zealand-grown

- radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 45(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s40490-015-0053-8>
- Kothandaraman, S., Dar, J. A., Sundarapandian, S., Dayanandan, S., & Khan, M. L. (2020). Ecosystem-level carbon storage and its links to diversity, structural and environmental drivers in tropical forests of Western Ghats, India. *Scientific Reports*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70313-6>
- Lawson, J. R., Fryirs, K. A., & Leishman, M. R. (2015). Hydrological conditions explain variation in wood density in riparian plants of south-eastern Australia. *Journal of Ecology*, 103(4), 945-956. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12408>
- Liu, L., Gundersen, P., Zhang, W., Zhang, T., Chen, H., & Mo, J. (2015). Effects of nitrogen and phosphorus additions on soil microbial biomass and community structure in two reforested tropical forests. *Scientific Reports*, 5(1), 14378. <https://doi.org/10.1038/srep14378>
- López Locia, M., & Valencia Manzo, S. (2016). Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. Del norte de México. *Madera y Bosques*, 7(1), 37-46. <https://doi.org/10.21829/myb.2001.711317>
- López, S. (2015). *Reservorio de Carbono en la Biomasa Aérea del Arbolado de la 1era sección del Bosque de Chapultepec*. Montecillo: Colegio de Postgraduados .
- Luchi, A. E. (2011). Quantitative features of *Cedrela odorata* L. wood (Meliaceae). *Revista Brasileira de Botânica*, 34(3), 403–410. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042011000300013>
- MAE. (2015). *Estadísticas de Patrimonio Natural*. <http://suiadoc.ambiente.gob.ec/documents/10179/346525/ESTADISTICAS+DE+PATRIMONIO+FINAL.pdf/b36fa0a7-0a63-4484-ab3e-e5c3732c284b;jsessionid=CWcoTreH0UQH1FdyUU-WM8pg?version=1.1>
- Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W., & Nobre, C. A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169-172.
- Martel, C., & Cairampoma, L. (2012). Cuantificación del Carbono Almacenado en Formaciones Vegetales Amazónicas en “Cicra”, Madre De Dios (Perú). *Ecología Aplicada*, 11(1-2), 59. <https://doi.org/10.21704/rea.v11i1-2.426>

- Maza, F. (2019). *Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Mitchard, E. T. A. (2018). The tropical forest carbon cycle and climate change. *Nature*, 559(7715), 527–534. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0300-2>
- Mohd Zaki, N. A., & Abd Latif, Z. (2017). Carbon sinks and tropical forest biomass estimation: a review on role of remote sensing in aboveground-biomass modelling. *Geocarto International*, 32(7), 701–716. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1178814>
- Mondragón, F. (2021). Ciclos del dióxido de carbono en la formación y utilización de combustibles fósiles y su efecto en el cambio climático. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1364>
- Nave, L. E., Walters, B. F., Hofmeister, K. L., Perry, C. H., Mishra, U., Domke, G. M., & Swanston, C. W. (2019). The role of reforestation in carbon sequestration. *New Forests*, 50(1), 115–137. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9655-3>
- North, M. P., Stevens, J. T., Greene, D. F., Coppoletta, M., Knapp, E. E., Latimer, A. M., Restaino, C. M., Tompkins, R. E., Welch, K. R., York, R. A., Young, D. J. N., Axelson, J. N., Buckley, T. N., Estes, B. L., Hager, R. N., Long, J. W., Meyer, M. D., Ostoja, S. M., Safford, H. D., ... Wyrsh, P. (2019). Tamm Review: Reforestation for resilience in dry western U.S. forests. *Forest Ecology and Management*, 432, 209-224. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.007>
- Obara, A. O., Höft, M. G., & Höft, R. (2004). Neem, *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae), and its potential for sustainable woodcarving in Kenya. *Economic Botany*, 58(1), 98–111. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0098:NAIAJM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0098:NAIAJM]2.0.CO;2)
- Ospina, Mayra., Segura, Daniel., Jiménez, Dígner., Angel, Miguel., Chinchero, Juan., Cueva, Dúval., Yaguana, Celso., Elisa, María., Carrión, María & Casanoves, Fernando. (2014). *Depuración y análisis de bases de datos de inventarios forestales*. XIC Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría. Santiago del Estero.
- Pintado, S., & Astudillo, D. (2021). *Inventario forestal y estimación de la captura del carbono en los cuatro parques urbanos y en las riberas de los ríos Santa Bárbara y San Francisco en la zona turística del cantón Gualaceo*. Universidad Politécnica Salesiana.

- Qie, L., Lewis, S. L., Sullivan, M. J. P., Lopez-Gonzalez, G., Pickavance, G. C., Sunderland, T., Ashton, P., Hubau, W., Abu Salim, K., Aiba, S.-I., Banin, L. F., Berry, N., Brearley, F. Q., Burslem, D. F. R. P., Dančák, M., Davies, S. J., Fredriksson, G., Hamer, K. C., Hédli, R., ... Phillips, O. L. (2017). Long-term carbon sink in Borneo's forests halted by drought and vulnerable to edge effects. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01997-0>
- RAISG. (2015). *Desmatamento na Amazônia (1970-2013)*. Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information.
- Réjou-Méchain, M., Tanguy, A., Pioniot, C., Chave, J., & Hérault, B. (2017). Biomass: an R Package for Estimating Above-Ground Biomass and Its Uncertainty in Tropical Forests. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(9), 1163–1167. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12753>
- Ruiz-Benito, P., & García-Valdés, R. (2016). Inventarios forestales para el estudio de patrones y procesos en Ecología. *Ecosistemas*, 25(3), 1-5. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-3.01>
- Sarango, F., & Tenempaguay, W. (2020). *Estimación del Carbono Almacenado en la Biomasa Aérea, Necromasa (Hojarasca), y en el suelo de un bosque de Pino en la comuna Paquizhapa (Provincia de Loja)*. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.
- Schimel, D., Stephens, B. B., & Fisher, J. B. (2015). Effect of increasing CO₂ on the terrestrial carbon cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(2), 436–441. <https://doi.org/10.1073/pnas.1407302112>
- Schmidt, L.J. Satellite data confirm anual carbon dioxide minimum above 400 ppm (en línea). California, US. Global Climate Change. Consultado 2 mar. 2023. Disponible en: <https://climate.nasa.gov/news/2535/satellite-data-confirmannual-carbon-dioxide-minimum-above-400-ppm>
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M. J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T. A., & Reyer, C. P. O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7(6), 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>

- Sivisaca, D. C. L., Herrera, B. G. P., & Mendoza, Z. H. A. (2018). Modelos Alométricos para estimar el almacenamiento de Carbono de Bosques Montanos Bajos en el Sur del Ecuador. *Ciência Florestal*, 28(3), 1328-1339. <https://doi.org/10.5902/1980509833464>
- Smith, J. E., Heath, L. S., & Woodbury, P. B. (2004). How to Estimate Forest Carbon for Large Areas from Inventory Data. *Journal of Forestry*, 25-31. <https://doi.org/10.1093/jof/102.5.25>
- Strubbe, M. (2013). *Variation of wood density and vessel traits along an altitude gradient in a tropical montane cloud forest in Ecuador*. University Gent.
- Sullivan, M. J. P., Talbot, J., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Qie, L., Begne, S. K., Chave, J., Cuni-Sanchez, A., Hubau, W., Lopez-Gonzalez, G., Miles, L., Monteagudo-Mendoza, A., Sonké, B., Sunderland, T., Ter Steege, H., White, L. J. T., Affum-Baffoe, K., Aiba, S. I., De Almeida, E. C., ... Zemagho, L. (2017). Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. *Scientific Reports*, 7(October 2016), 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep39102>
- Usuga, J. C. L., Toro, J. A. R., Alzate, M. V. R., & de Jesús Lema Tapias, Á. (2010). Estimation of biomass and carbon stocks in plants, soil and forest floor in different tropical forests. *Forest Ecology and Management*, 260(10), 1906-1913. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.040>
- Valdivia, G. (2021). *Cuantificación del Carbono Almacenado en la Biomasa Aérea como una Herramienta para la Conservación del Bosque Seco El Cañoncillo, Pacasmayo, La Libertad*. Lima: Universidad Científica.
- Valencia, M. S. & J. Vargas Hernández. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques* 3(1):81-87.
- Vázquez-Cuecuecha, Oscar G., Zamora-Campos, Eunise M., García-Gallegos, Elizabeth, & Ramírez-Flores, Juan Alberto. (2015). Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas. *Madera y bosques*, 21(1), 129-138. Recuperado en 22 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000100010&lng=es&tlng=es.
- Wang, B., Waters, C., Anwar, M. R., Cowie, A., Li Liu, D., Summers, D., ... & Feng, P. (2022). Future climate impacts on forest growth and implications for carbon sequestration

through reforestation in southeast Australia. *Journal of Environmental Management*, 302, 113964.

Yepes, Adriana, Herrera, Johana, Phillips, Juan, Cabrera, Edersson, Galindo, Gustavo, Granados, Edwin, Duque, Álvaro, Barbosa, Adriana, Olarte, Claudia, & Cardona, María. (2015). Contribución de los bosques tropicales de montaña en el almacenamiento de carbono en Colombia. *Biología Tropical*, 63 (1), 69-82. Recuperado el 27 de febrero de 2023, de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442015000100007&lng=en&tlng=es.

Zanne AE, Lopez-Gonzalez G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL et al (2009) Global wood density database

Anexos

Anexo A. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de Azuay.

PROVINCIA DE AZUAY		
Número de parcelas	Número de Individuos	Densidad de madera (g/cm ³)
<i>Acacia melanoxylon R. Br.</i>		
R21	4	0,565046667
R22	4	0,46869697
R23	3	0,63
<i>Alnus acuminata Kunth</i>		
R1	20	0,5272
R12	2	0,587025
R13	3	0,361396923
R15	4	0,442576577
R16	1	0,458538462
R17	4	0,327325926
R18	2	0,377514286
R2	14	0,455965
R21	2	0,418785185
R22	3	0,530023529
R3	5	0,387614815
R4	6	0,388809524
R5	9	0,388956522
R6	8	0,483304
R7	13	0,405305263
<i>Baccharis latifolia (Ruiz & Pav.) Pers.</i>		
R10	1	0,711342857

R12	1	0,401933333
R13	10	0,536348148
R15	2	0,419692308
R17	2	0,411060465
R2	5	0,5818375
R22	1	0,60877
R23	1	0,5199625
R5	1	0,423638889
R6	1	0,450277778
R7	2	0,511642857

Erythrina edulis Triana ex Micheli

R10	2	0,358588235
R11	6	0,333376923
R12	1	0,353967442
R15	8	0,365626087
R2	3	0,3847
R3	4	0,333052174

Escallonia myrtilloides

R17	19	0,490988889
R18	2	0,52446087
R4	1	0,412
R5	4	0,462008696
R6	7	0,504696

Gaultheria erecta Vent.

R1	1	0,468725
----	---	----------

Halo sp

R16	1	0,547638462
-----	---	-------------

R18	1	0,517792
R19	2	0,617330435
R7	2	0,574328571
<i>Inga insignis</i> Kunth		
R12	4	0,570133333
R2	2	0,52561
R3	2	0,597430769
<i>Mimosa andina</i> Benth.		
R13	1	0,610946667
<i>Morella parvifolia</i> (Benth.) Parra-O.		
R10	16	0,51861
R11	5	0,60694
R12	9	0,472634483
R14	16	0,5717
R22	1	0,563677778
<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br		
R21	1	0,505545455
<i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.		
R16	13	0,691613333
R18	12	0,524819048
R19	12	0,496894737
R24	24	0,6456125
<i>R19Sp1</i>		
R19	3	0,482222222
<i>R19Sp3</i>		
R19	3	0,559354545

<i>R1Sp1</i>		
R1	4	0,593614286
<i>R21Sp1</i>		
R21	1	0,565842857
<i>R22Sp1</i>		
R22	2	0,634329412
<i>R5Sp1</i>		
R5	1	0,565146875
<i>R7Sp1</i>		
R7	1	0,490988889
<i>Salix humboldtiana Willd</i>		
R3	1	0,32678
<i>Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth</i>		
R13	4	0,500636364

Anexo B. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de Cañar.

PROVINCIA DE CAÑAR		
Número de parcelas	Número de Individuos	Densidad de madera (g/cm ³)
<i>Alnus acuminata Kunth</i>		
R9	10	0,447047059
<i>Escallonia myrtilloides</i>		
R9	3	0,441911111
<i>Oreopanax andreanus Marchal</i>		
R9	5	0,444416

<i>Polylepis racemosa Ruiz & Pav.</i>		
R8	25	0,492436364
<i>R9Sp4</i>		
R9	1	0,401566667

Anexo C. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de Zamora Chinchipe.

PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE		
Número de parcelas	Número de Individuos	Densidad de madera (g/cm³)
<i>Alchornea glandulosa</i>		
R26	8	0,266141935
R37	1	0,298810714
<i>Alchornea sp</i>		
R27	4	0,436185
<i>Alnus acuminata Kunth</i>		
R41	5	0,419908772
R42	9	0,406371429
R43	10	0,42405
<i>Brownea herthae</i>		
R42	4	0,495588889
R44	9	0,560311111
<i>Cavendishia bracteata</i>		
R39	2	0,784889744
<i>Cecropia sp</i>		
R26	2	0,200022222

R33	4	0,324322973
<i>Cedrela odorata</i>		
R25	4	0,343826667
<i>Cedrela sp</i>		
R28	5	0,82494
<i>Cedrella montana</i>		
R25	2	0,328391667
<i>Chiflera sp</i>		
R37	1	0,281273684
<i>Clethra fimbriata</i>		
R27	1	0,611417778
<i>Clusia alata Triana & PLanch</i>		
R38	1	0,557006452
<i>Critoniopsis sp</i>		
R27	1	0,43362381
<i>Croton lechleri</i>		
R27	2	0,293589474
R31	2	0,553515152
<i>Ficus sp</i>		
R30	4	0,433320755
R31	1	0,496160938
<i>Hedyosmum luteynii</i>		
R34	5	0,27432
<i>Heliocarpus americanus</i>		
R32	2	0,272309375
R36	1	0,273678832
<i>Heliocarpus sp</i>		

R35	1	0,199068657
<i>Inga insignis Kunth</i>		
R25	2	0,407610526
R32	5	0,41016875
<i>Inga vera</i>		
R33	1	0,387675758
<i>Isertia laevis (Triana) B,M, Boom</i>		
R40	5	0,716836842
<i>Miconia sp</i>		
R28	3	0,377633333
R29	4	0,503126829
R30	4	0,505142857
R32	3	0,535441935
R33	4	0,550287719
R34	2	0,55873
R36	8	0,588443902
R40	3	0,581417143
R41	5	0,45826087
R43	3	0,55248
R44	3	0,484938889
<i>Myrsine dependens (Mez) Pipoly</i>		
R37	3	0,512873333
R38	5	0,64233
R39	5	0,671484211
R40	1	0,606508696
<i>Ochroma pyramidale</i>		
R25	1	0,232870968

R41	3	0,175151402
R43	5	0,232465
<i>Ocotea sp</i>		
R26	5	0,420895349
R29	2	0,577667778
R39	3	0,594824
<i>Pachira insignis</i>		
R30	1	0,289599231
<i>Piptocoma discolor (Kunth) Pruski</i>		
R29	11	0,496844915
R30	6	0,452176154
R31	16	0,509498667
R32	9	0,487977
R33	7	0,52790463
R34	8	0,489541667
R36	1	0,466658333
R38	2	0,4287
<i>Psidium guajaba</i>		
R35	4	0,582790196
<i>R25Sp2</i>		
R25	3	0,509441026
<i>R26Sp13</i>		
R26	2	0,456392157
<i>R28Sp21</i>		
R28	1	0,47615
<i>R28Sp22</i>		
R28	1	0,386778378

<i>R43Sp1</i>		
R43	1	0,397983333
<i>R44Sp1</i>		
R44	4	0,50267234
<i>R44Sp4</i>		
R44	5	0,489911765
<i>Ruagea hirsuta Harms</i>		
R30	3	0,38342459
<i>Solanum candidum</i>		
R35	1	0,334397059
<i>Tachigali sp</i>		
R29	1	0,330102913
<i>Tibouchina lepidota</i>		
R38	3	0,600552941
R39	3	0,560415094
R40	1	0,478267857
<i>Vernonanthura patens</i>		
R43	3	0,439464865
R44	1	0,462346535
<i>Vismia baccifera (L.) Triana & Planch</i>		
R27	5	0,45808
R29	3	0,576925
R30	5	0,409375
<i>Vismia baccifera Triana & Planch</i>		
R28	2	0,469838235
R32	4	0,486906667

R33	4	0,484354167
R34	4	0,396642857
R35	3	0,521020339
R36	8	0,593333043
R38	1	0,425980952

Anexo D. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de Loja.

PROVINCIA DE LOJA		
Número de parcelas	Número de Individuos	Densidad de madera (g/cm ³)
<i>Acacia macracantha</i>		
R45	2	0,644942857
R47	3	0,700455556
R48	3	0,57424
R49	4	0,670525
<i>Cedrela odorata</i>		
R46	3	0,515675556
R47	1	0,401063636
R49	1	0,371652632
<i>Ficus maxima</i>		
R46	3	0,325433333
R48	2	0,432907317
<i>Ficus sp</i>		
R49	3	0,441553333
<i>Guayabillo sp</i>		
R48	3	0,6761

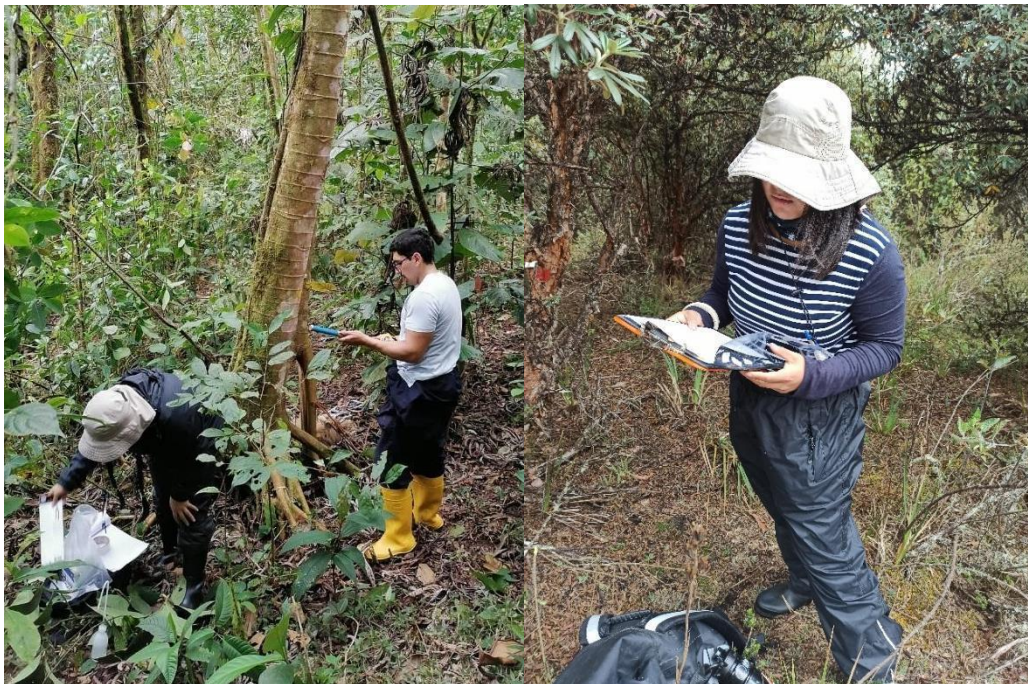
<i>Guazuma ulmifolia</i>		
R45	4	0,563444898
R47	5	0,674572727
R48	5	0,441815385
R49	1	0,394102703
<i>Muntingia calabura</i>		
R49	1	0,342157692
<i>Papelillo sp</i>		
R47	4	0,766085714
<i>Pata de gallina sp</i>		
R47	1	0,663875
<i>Pseudosamanea guachapele</i>		
R46	1	0,267733333
<i>Psidium guajaba</i>		
R45	1	0,463
R48	3	0,631785714
<i>Triplaris guayaquilensis</i>		
R46	3	0,569357576

Anexo E. Tabla que contiene el número de parcelas e individuos y los valores de densidad de madera de la provincia de El Oro.

PROVINCIA DE EL ORO		
Número de parcelas	Número de Individuos	Densidad de madera (g/cm³)
<i>Inga sp</i>		
R51	2	0,424717391
<i>Juglans neotropica</i>		

R50	3	0,479947059
R52	1	0,348709804
<i>Miconia sp</i>		
R50	4	0,434737778
R51	5	0,470879167
R52	6	0,5102
R53	12	0,418114286
<i>Piper sp</i>		
R51	2	0,3350625
<i>R50Sp1</i>		
R50	4	0,387643478
<i>R50Sp2</i>		
R50	5	0,408388278
<i>R51Sp1</i>		
R51	2	0,584421978
<i>R52Sp1</i>		
R52	3	0,490425
<i>R52Sp2</i>		
R52	4	0,400091667
<i>R53Sp2</i>		
R53	3	0,411016667
<i>R52Sp</i>		
R52	1	0,29757931
<i>Vernonanthura patens</i>		
R51	3	0,3389125
<i>Zinowiewia integerrima</i>		
R53	1	0,329515152

Anexo F. Reconocimiento de la parcela y ubicación de los árboles, para la obtención de muestras de madera.



Anexo G. Reconocimiento de código de un árbol y la obtención de medidas dendrométricas.



Anexo H. Barrenación de un árbol, para la obtención de una muestra de madera, por medio del barrenador de incremento o pressler.



Anexo I. Obtención del volumen en verde de las muestras de madera, por medio del método por desplazamiento de agua y método empírico.



Anexo J. Proceso de secado por medio de la estufa (72°C) y medición del peso seco de las muestras de madera.

