

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Trabajo experimental previo a la obtención de título de:

INGENIERO AMBIENTAL

TEMA:

“Evaluación Del Carbono En La Biomasa De Dos Especies Forestales Introducidas (*Eucalyptus Y Pinus*) Y Una Especie Nativa (*Hesperomeles Ferruginea*) En El Bosque Aguarongo”

AUTORA:

INES JHAKELINNE CHIMBO YARI

DIRECTOR:

ING. JUAN GERARDO LOYOLA ILLESCAS

Cuenca, Febrero 2016

CERTIFICADO

Yo, Juan Gerardo Loyola Illescas, docente de la Universidad Politécnica Salesiana de la carrera de Ingeniería Ambiental CERTIFICO, haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos del trabajo experimental intitulada: “Evaluación Del Carbono En La Biomasa De Dos Especies Forestales Introducidas (*Eucalyptus* Y *Pinus*) Y Una Especie Nativa (*Hesperomeles Ferruginea*) En El Bosque Aguarongo”, realizado por la estudiante: Inés Jhakelinne Chimbo Yari, y por haber cumplido con todos los requisitos necesarios autorizo su presentación.

Cuenca, 18 de febrero del 2016

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized loop followed by several horizontal strokes.

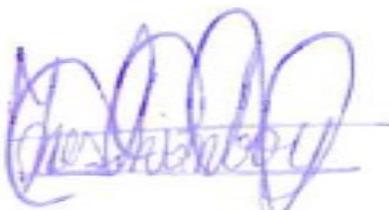
Ing. Juan Gerardo Loyola Illescas
DIRECTOR DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de Chimbo Yari Inés Jhakelinne.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Cuenca, febrero del 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Inés Jhakelinne Chimbo Yari', written over a horizontal line.

.....
Inés Jhakelinne Chimbo Yari

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo primero a Dios, a quien lo considero mi mayor propulsor para seguir
avanzando.

A mi madre, Clara Yari, la mujer que ha sido un pilar fundamental en mi vida.

A mi esposo e hijo que incondicionalmente me apoyan.

De igual manera a mis hermanos y amigos que siempre estuvieron motivándome a la
culminación de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme y darme la oportunidad de culminar mis estudios.

A mi madre que me enseñó con su dedicación y esfuerzo que todo es posible.

A mi esposo e hijo por su confianza, compañía y paciencia que me brindan.

A Universidad Politécnica Salesiana por permitirme formar parte de esta prestigiosa institución y de esta manera culminar mi carrera profesional.

Al Ingeniero Juan Loyola por compartir sus conocimientos y por el tiempo brindado al desarrollo de este trabajo

Un agradecimiento especial a mis compañeros David Romo y Marcos Gutierrez que con su apoyo y perseverancia hicieron que este trabajo sea realizado con éxito.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la cuantificación de carbono capturado por la especie nativa *Hesperomeles Ferruginea* y las especies introducidas *Ecucalytus* y *Pinus*, como método para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI).

El trabajo de campo se llevó a cabo en el Área del Bosque Protector Aguarongo. La biomasa se estimó mediante un método no destructivo, trazando 20 transectos para la especie nativa y 6 parcelas para las especies introducidas dentro de los cuales se midieron la altura de las especies y el diámetro a la altura del pecho (DAP), las especies a ser registradas fueron aquellas que tienen un DAP igual o mayor a 10 cm.

De acuerdo al análisis con ecuaciones alométricas, las especies introducidas poseen un DAP superior de aproximadamente 30 cm mientras que para la especie nativa el DAP fue de 20 cm. La cantidad de CO₂ capturado para la especie *Eucaliptus* fue de 0,90 ton/ssp, para la especie *Pinus* fue de 0,60 ton/ssp y para la especie nativa *Hesperomeles ferruginea* la concentración de carbono capturado fue de 0.10 ton/ssp.

A partir de esto se determinó en una proyección por hectárea que las especies introducidas capturan menor cantidad de CO₂ debido a que se encuentran en menor número de especies por hectárea.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO.....	I
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
1. INTRODUCCION	1
2. JUSTIFICACION	2
3. EXPLICACION DEL PROBLEMA.....	3
3.1. Delimitación.....	3
3.2. Hipótesis.....	3
4. OBJETIVOS	4
4.1. Objetivo general.....	4
4.2. Objetivos específicos	4
5. CAPITULO I: MARCO TEORICO.....	5
5.1. El Cambio Climático.....	5
5.1.1. Historia del cambio climático.....	5

5.1.2.	Afectaciones del cambio climático.....	6
5.1.3.	Impactos del cambio climático.....	8
5.2.	Gases De Efecto Invernadero.....	9
5.3.	Dióxido De Carbono (CO ₂).....	9
5.3.1.	Ciclo del carbono.....	10
5.3.2.	Carbono en ecosistemas forestales.....	11
5.4.	Biomasa Arbórea.....	13
5.4.1.	Biomasa arbórea frente al cambio climático.....	13
5.4.2.	Métodos para estimar la biomasa arbórea.....	14
5.5.	Los Bosques en el Ecuador.....	15
5.6.	Bosque Nativo.....	16
5.7.	El Área Del Bosque Protector Aguarongo.....	17
5.7.1.	Ubicación geográfica.....	18
5.7.2.	Factores climáticos.....	19
5.7.3.	Geomorfología.....	19
5.7.4.	Hidrología.....	19
5.7.5.	Flora.....	20
5.8.	Especies Vegetales del Estudio.....	20
5.8.1.	<i>Hesperomeles Ferruginea</i>	20
5.8.2.	<i>Eucalytus Globulus</i>	22

5.8.3.	<i>Pinus Radiata</i>	24
6.	CAPITULO II: METODOLOGIA.....	26
6.1.	Muestreo de Especies.....	26
6.2.	Recopilación de Datos.....	28
6.3.	Materiales y Equipos.....	29
6.4.	Medición del Diámetro a la Altura de Pecho (DAP)	30
6.5.	Medición de la Altura Total del Fuste.....	31
7.	CAPITULO III: CALCULOS	33
7.1.	Estimación del Área Basal	33
7.2.	Estimación del Volumen.....	33
7.3.	Estimación de la Biomasa Forestal	34
7.4.	Estimación del Carbono Almacenado en el Bosque	35
7.5.	Estimación del CO ₂ Almacenado en el Bosque.....	35
7.6.	Evaluación Estadística	36
8.	CAPITULO IV: RESULTADOS.....	37
8.1.	Relación entre la Especie y el DAP	37
8.2.	Relación entre la Especie y la Altura de Fuste	38
8.3.	Relación entre la Especie y el Área Basal.....	39
8.4.	Relación entre la Especie y el Volumen Forestal.....	40
8.5.	Relación entre la Especie y la Biomasa Forestal.....	41

8.6.	Relación entre la Especie y el Carbono Captado	42
8.7.	Relación entre la Especie y la Cantidad de CO ₂ Capturado	43
8.8.	Relación entre el DAP y la Altura de Fuste	44
8.9.	Histograma de la Frecuencia de Altura	45
8.10.	Histograma de la Frecuencia del DAP	46
8.11.	Análisis Descriptivo de los Datos	47
8.12.	Proyección de Captura de CO ₂ por Hectárea.....	48
9.	DISCUSION	49
10.	CONCLUSIONES	50
11.	RECOMENDACIONES	51
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	53
13.	ANEXOS.....	57
13.1.	Anexo 1: Ficha para Levantamiento de Campo	57
13.2.	Anexo 2: Base de Datos	58
13.3.	Anexo 3: Coordenadas de Transectos	60
13.4.	Anexo 4: Coordenadas Parcelas.....	60
13.5.	Anexo5: Imágenes de las Mediciones en Campo.....	61

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ciclo del Carbono.....	11
Ilustración 2. Flujo y almacenamiento de carbono en un ecosistema forestal	12
Ilustración 3. Área del Bosque y Vegetación Protector Aguarongo	18
Ilustración 4. Especie Hesperomeles Ferruginea.....	20
Ilustración 5. Especie Eucalyptus Globulus	22
Ilustración 6. Especie Pinus Radiata	24
Ilustración 7. Trazado de transecto.....	26
Ilustración 8. Mapa de los transectos en el Bosque Aguarongo.....	27
Ilustración 9. Trazado de parcela cuadrada.....	27
Ilustración 10. Mapa de las parcelas en el Bosque Aguarongo.....	28
Ilustración 11. Definición de la altura de medición del DAP en: (a) arboles rectos, normales y terreno bifurcados bajo 1,3 m de altura en el fuste; (c) arboles bifurcados sobre 1,3.....	30
Ilustración 12. Medición de altura de un árbol.....	31
Ilustración 13. Diagrama de caja del DAP	37
Ilustración 14. Diagrama de caja de la Altura de Fuste.....	38
Ilustración 15. Diagrama de caja del área basal.....	39
Ilustración 16. Diagrama de caja del Volumen forestal	40
Ilustración 17. Diagrama de caja de la Biomasa forestal	41
Ilustración 18. Diagrama de caja del Carbono captado.....	42

Ilustración 19. Diagrama de caja del CO ₂ Capturado.....	43
Ilustración 20. Cuadro de dispersión entre el DAP y la Altura de Fuste.....	44
Ilustración 21. Histograma de Altura de Fuste.....	45
Ilustración 22. Histograma de Frecuencia del DAP	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Prueba Estadística de ANOVA	47
Tabla 2. Prueba Estadística de Tukey	47

1. INTRODUCCION

En las últimas décadas se ha incrementado la evidencia de que la tierra está experimentando un cambio en la temperatura global promedio, que se manifiesta en el aumento de temperaturas superficiales de la tierra, de los océanos, al igual que del sistema combinado tierra – océano. Delgado *et al.* (2007).

El calentamiento global actual es un fenómeno que ha ocurrido más rápido que cualquier otro cambio climático, según el IPCC (2013) la temperatura de la superficie de la tierra ha aumentado en 0.85 °C durante el periodo 1880 – 2012. Esta variación en la temperatura es provocada principalmente por los gases de efecto invernadero (GEI) los cuales se encuentra en la atmosfera y reflejan hacia todas las direcciones las radiaciones térmicas de onda larga las cuales pueden dirigirse a la superficie de la tierra. Ciesla (1996).

Los principales GEI son: dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), monóxido de dinitrógeno (N₂O), Ozono (O₃) y los Clorofluorocarbonos (CFC's). Siendo el CO₂ el gas más importante generado por las actividades humanas (Schlegel, 2001).

Una de las estrategias que se realizan para combatir el incremento en la concentración de CO₂ en la atmósfera es mediante la captura y secuestro de carbono en la biomasa forestal. Los bosques son los ecosistemas terrestres más extensos, ocupando el 30% de la superficie emergida del planeta (FAO, 2007). Por eso es importante fomentar investigaciones de las diversas especies forestales, ya que con esta se puede representar la cantidad de carbono que puede ser fijada en una determinada superficie de bosque.

2. JUSTIFICACION

En el Ecuador la cobertura de vegetación natural del país al año 2008 es de 14'123.637 ha, que representa el 57% del territorio nacional. La vegetación natural se divide en bosque nativo: 11'307.627 ha, páramos: 1'380.755 ha, vegetación arbustiva: 1'175.423 ha y vegetación herbácea: 259.832 ha. MAE (2014). Por eso es importante fomentar investigaciones de las diversas especies forestales, ya que con esta se puede representar la cantidad de carbono que puede ser fijada en una determinada superficie de bosque.

En nuestra ciudad las emisiones causadas por el parque automotor junto a la de la industria son las más significativas de acuerdo al estudio realizado por la Dirección Municipal de Transito, en la ciudad de Cuenca, hay una proyección de crecimiento del parque automotor de 10.000 vehículos por año. (Cárdenas, 2014). Si se considera que en promedio, los motores de gasolina emiten 2,3 kg de CO₂ por cada litro de gasolina (Telégrafo, 2015), existiría una gran cantidad de toneladas de CO₂ que se emitirían cada que se combustione un litro de gasolina.

Con base a la problemática anterior este trabajo pretende contribuir en la cuantificación de carbono capturado por las distintas especies forestales y así determinar su tasa de acumulación actual y potencial, llenando los vacíos de información sobre inventarios forestales en el cual el país tiene poca experiencia.

3. EXPLICACION DEL PROBLEMA

3.1. Delimitación

El estudio se realizó en el Área De Influencia Del Bosque Y Vegetación Protectora Aguarongo que comprende una superficie de 2059 hectáreas y que se encuentra en los cantones de Gualaceo, Sigsig y Cuenca. Durante los mes de noviembre, diciembre y enero.

3.2. Hipótesis

- **Hipótesis nula**

H_0 : Las especies forestales introducidas tienen mayor capacidad de captura de carbono en relación a las especies forestales nativas

- **Hipótesis alternativa**

H_i : La especie forestal nativa tiene mayor capacidad de captura de carbono

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar el carbono en la biomasa de 2 especies forestales introducidas (*Eucalyptus Globulus* y *Pinus Radiata*) y una especie nativa (*Hesperomeles Ferruginea*) en el bosque Aguarongo

4.2. Objetivos específicos

- Recolectar de información referente a las especies de estudio, su influencia el bosque Aguarongo y usos.
- Obtener variables de campo, como son: Diámetro a la altura del pecho (DAP), Altura de fuste; necesarias para determinar la biomasa y la capacidad de captura de carbono de las especies; y variables como son: coordenadas de los individuos identificados
- Analizar estadísticamente los resultados de captura de carbono de las especies y la capacidad de captura por hectárea de cada especie.

5. CAPITULO I: MARCO TEORICO

5.1. El Cambio Climático

Entendemos por cambio climático, a las variaciones de las condiciones climáticas y su variabilidad durante un periodo de tiempo. El cambio climático puede ser provocado por procesos naturales internos, externos o por cambios antropogénicos en la composición de la atmosfera o el uso de suelo. FAO (2009).

Actualmente, existe una enorme preocupación social acerca del incremento medio de temperatura de la atmosfera del planeta que se viene observando en las últimas décadas. Orozco *et al.* (2008). La temperatura media mundial se ha elevado medio grado desde el principio de este siglo. Erickson *et al.* (1992).

Existen dos características principales que hacen que el cambio climático esté relacionado a la historia del planeta: primero, la rapidez de este cambio que son notables en espacios cortos de tiempo como las décadas. Segundo, que la especie humana sea el precursor de todos esos cambios, de tal modo se emplea el término antropoceno. Duarte (2006)

5.1.1. Historia del cambio climático

En 1824, el físico francés Joseph Fourier describió por primera vez el “efecto invernadero” natural de la Tierra. En 1861, el físico irlandés John Tyndall demuestra que el CO₂ y el H₂O pueden provocar cambios en el clima. En 1895, el químico sueco Svante Arrhenius concluye que la combustión de carbón de la era industrial aumentará el efecto invernadero natural. En 1938 el ingeniero británico Guy Callendar demuestra que la temperatura ha aumentado durante los últimos 100 años a consecuencia del aumento

de las concentraciones de CO₂. El llamado “efecto Callendar” es ampliamente desestimado. En 1958, el geoquímico Charles David Keeling es contratado para supervisar continuamente los niveles de CO₂ en la atmósfera; en tan solo dos años constata un aumento en la Antártida. En el decenio de 1970, se identifican otros gases de efecto invernadero antropogénicos, CH₄, N₂O y CFC, y, en 1979, se celebra en Ginebra la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, que conduce a la creación del Programa Mundial sobre el Clima. En 1988, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) crean el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). En 1990, el IPCC publica su Primer Informe de Evaluación sobre la situación del cambio climático y predice un aumento de la temperatura de 0,3 °C en cada decenio del siglo XXI. (IPCC, 2007)

5.1.2. Afectaciones del cambio climático

Un incremento de la temperatura por encima de dos grados produce una fuerte desestabilización social, económica, ambiental y política en amplias regiones del mundo, que acabaría incidiendo en los siempre difíciles equilibrios de la paz y seguridad internacionales. (Herrán, 2012)

A continuación se detalla las siguientes tendencias de impacto del cambio climático:

- **Aumento de la Temperatura**

El promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas, ha evolucionado entre 1850 y 2012. El promedio anual de temperaturas siempre ha variado, oscilando entre períodos fríos y cálidos. Sin embargo, es evidente que en cada una de las

tres últimas décadas se ha producido un aumento progresivo en la temperatura de la superficie de la Tierra, mayor que en cualquier década precedente desde 1850. (IPCC, 2013)

El aumento de la temperatura es generalizado en todo el planeta, pero existen importantes variaciones regionales.

- **Cambio en la precipitación anual**

Otro indicador importante que manifiesta el cambio climático a nivel mundial, son los cambios en los patrones de la precipitación en zonas terrestres, sin incluir las precipitaciones en los océanos. Estos cambios, al igual que la temperatura media superficial global, no se han producido de manera homogénea en todo el mundo (en la precipitación estos cambios son mucho más evidentes y diferenciados), sino que han variado según las diferentes regiones. (Benavides & Rocha, 2012).

- **Disminución de la capa de hielo**

Desde mediados del siglo XX, los casquetes de hielo de Groenlandia y la Antártida han ido perdiendo masa, los glaciares continúan retrocediendo en casi todo el mundo, y la extensión del hielo del Ártico ha seguido reduciéndose. (Martínez & Fernández, 2004)

- **Variación en el nivel oceánico**

El derretimiento de los hielos terrestres en las zonas polares y en las montañas ha ocasionado que el nivel del mar se eleve. A este efecto, hay que agregarle también el calentamiento del agua de las últimas décadas que ha ocasionado que los mares y

océanos, como todos los cuerpos que adquieren calor, se expandan, y puesto que tienen un espacio limitado, incrementen su nivel. (Secretaría de Medioambiente y Recursos Forestales, 2009).

5.1.3. Impactos del cambio climático

Las diversas variaciones descritas anteriormente provocan en el ambiente las siguientes consecuencias:

- **Impactos sobre la agricultura**

El cambio climático no afecta por igual a todos los territorios del planeta y a todos los cultivos por igual, la modificación de las características climáticas afecta al crecimiento y reproducción de las plantas. (Ibañez, 2011)

- **Impactos en el ecosistema**

Los impactos en el ecosistema presentan un incremento de las áreas y la frecuencia del fenómeno de blanqueamiento de corales, con índices de mortalidad, cambios en la distribución y límites en las especies, en el caso de varias especies se están dando migraciones tempranas y a sitios más lejanos. (Bergkamp & Orlando, 1999)

- **Impacto sobre el agua**

La escorrentía y la disponibilidad de agua en muchas áreas, se verá más comprometida debido al retroceso y pérdida de glaciares, el descenso de los volúmenes

de agua almacenados en la nieve, y la reducción de los cursos de agua durante el verano y el otoño, afectando así otras actividades de sustento. (IPCC, 2013)

- **Impactos en la Salud**

Los impactos directos en la salud humana resultan de una exposición creciente al calor y una disminución en la exposición al frío, así como del incremento en la exposición a tormentas y ciclones. Existe cambio en la distribución de algunos vectores de enfermedades. (IPCC, 2013)

5.2. Gases De Efecto Invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases traza en la atmósfera que absorben y emiten radiación de onda larga. Envuelven la Tierra de forma natural y, sin ellos en la atmósfera, la temperatura del planeta sería 33 °C inferior. Los siete gases de efecto invernadero más importantes regulados por el Protocolo de Kioto son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), hidrofluorocarbono (HCF), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆), y trifluoruro de nitrógeno (NF₃); cada uno de estos gases tiene una capacidad diferente de atrapar el calor en la atmósfera, también denominado “*potencial de calentamiento global*” (PMC). IPCC (2007).

5.3. Dióxido De Carbono (CO₂)

El GEI antropogénico más importante es el dióxido de carbono (CO₂). Contribuye aproximadamente al 65% del forzamiento radiativo total ocasionado por los GEI de

larga duración, las principales causas de las emisiones de CO₂ son la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la degradación forestal, y la producción de hierro y acero. OMM (2015).

El dióxido de carbono no tiene un ciclo de vida específico, puesto que circula continuamente entre la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre, y su eliminación neta de la atmósfera implica una serie de procesos con diferentes escalas de tiempo. Los océanos y los bosques son los principales sumideros de carbono.

5.3.1. Ciclo del carbono

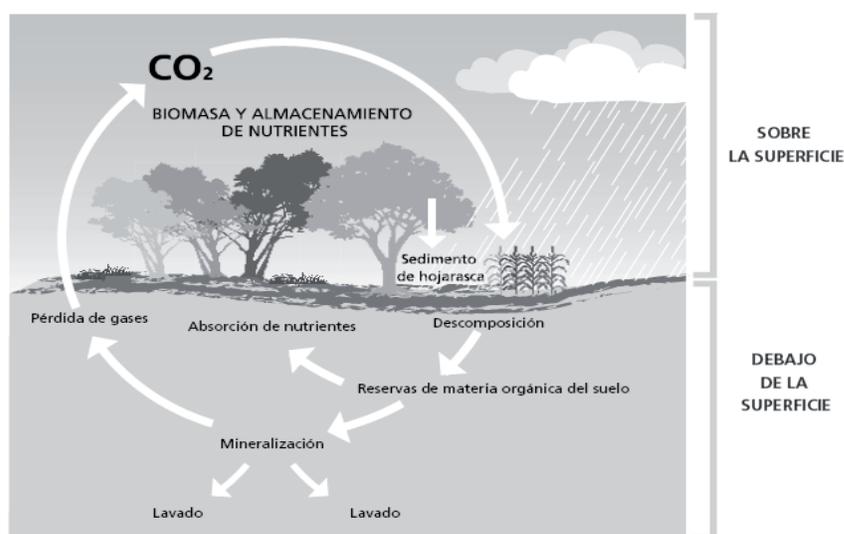
El carbono constituye todas las moléculas orgánicas que forman a los seres vivos. Se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO₂), en el suelo y disuelto en el agua. Cumple un papel fundamental en los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono. Los procesos de captura y emisión de carbono son parte de un sistema de cuatro reservorios de carbono (vegetación aérea y radical- materia en descomposición- suelos- productos forestales), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes. (PIARFON.2005)

Existen cinco rutas naturales de transformación del carbono:

- **Fotosíntesis:** las plantas transforman el CO₂ atmosférico, o del agua, en materia orgánica (carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos), de la que se alimentan los seres vivos a través de las cadenas alimentarias, donde pasa a formar parte del cuerpo de estos seres vivos
- **Respiración:** Durante la respiración, los animales y las plantas consumen materia orgánica y devuelven el CO₂ a la atmósfera o al agua.

- **Combustión:** El carbono es incorporado a la atmósfera mediante los procesos de combustión que se generan en los incendios forestales, la actividad volcánica y el uso de petróleo, gas natural o carbón, en actividades industriales, de transporte y domésticas.
- **Descomposición:** Los restos de los animales y vegetales son descompuestos por las bacterias.
- **Liberación:** De la atmósfera a los cuerpos de agua, mediante la disolución del carbono y de la transformación de CO_2 a carbonatos por los organismos marinos. Si el CO_2 es liberado a la atmósfera las plantas vuelven a utilizarlo.

Ilustración 1. Ciclo del Carbono



Fuente: IPCC (2007)

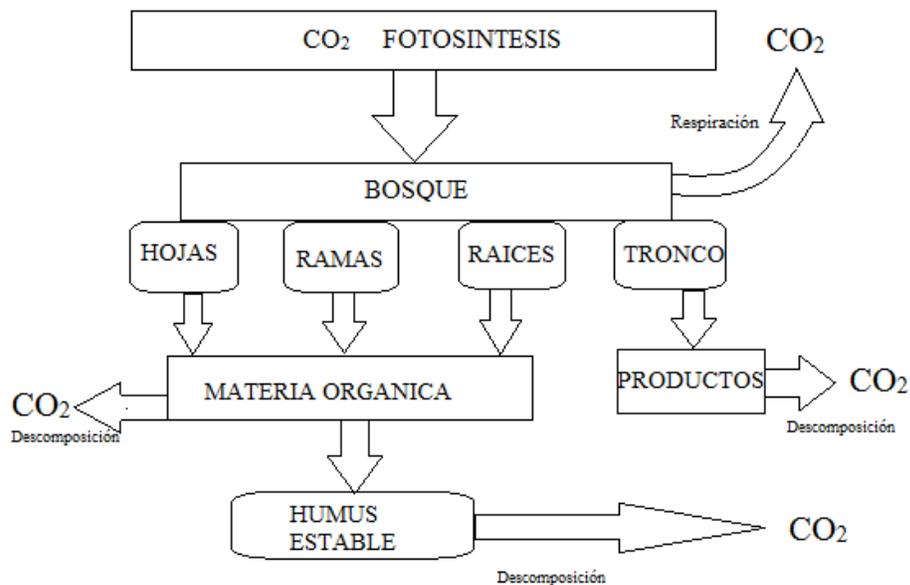
5.3.2. Carbono en ecosistemas forestales

Los bosques juegan un rol principal no solo como factor de desarrollo de un país y de sus modelos de sostenibilidad, sino que adquieren protagonismo mundial por su

probable reconocimiento como sumideros en los sistemas contables de los ciclos de carbono. Dauber, *et al.* (2000).

Se estima que el 80% del carbono que vegetación y suelos intercambian con la atmósfera corresponde a los bosques. Estos, al incorporarse el carbono en el crecimiento de los árboles, actúan como sumideros (2,30 Gt C año⁻¹ en términos muy amplios) y juegan un papel importante en el balance de carbono, contribuyendo a reducir el contenido en la atmósfera del CO₂ procedente de las emisiones antropogénicas. (Pardos, 2010).

Ilustración 2. Flujo y almacenamiento de carbono en un ecosistema forestal



Fuente: Adaptado de Revista Seguridad y Ambiente (2009)

Elaboración: La autora

5.4. Biomasa Arbórea

Una vez que el dióxido de carbono atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). El árbol al crecer va incrementado su follaje, ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento; así como altura y grosor del tronco. (Ordoñez & Masera, 2001)

La biomasa arbórea es un tipo de depósito de carbono muy importante debido a que contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo por medio de la acumulación de la materia orgánica. Además, realizar la medición de la biomasa arbórea permite establecer la cantidad de CO₂ que puede ser removido de la atmosfera mediante planes de reforestación (Manson, 2008).

5.4.1. Biomasa arbórea frente al cambio climático

Los bosque pueden ser usados como estrategia de mitigación para el cambio climático debido a su proceso metabólico, ya que durante su crecimiento, estos se comportan como sumideros de carbono al absorber CO₂ y almacenar carbono en la madera como biomasa (Cubero y Rojas, 1999). Adicional a eso, los sistemas forestales tienen el potencial de, no solo almacenar el carbono en su biomasa si no también lo hacen en el suelo (Brown, 1997; Gasparri et al., 2004). Se estima que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años,

permitiendo secuestrar entre un 20 y un 50% de las emisiones netas de CO₂ a la atmósfera (IPCC, 1996).

Los bosques son los ecosistemas terrestres más extensos, ocupando el 30% de la superficie emergida del planeta (FAO, 2007). Por eso es importante fomentar investigaciones de las diversas especies forestales, ya que con esta se puede representar la cantidad de carbono que puede ser fijada en una determinada superficie de bosque.

La cantidad de carbono secuestrada por un bosque puede servir de ayuda al momento de evitar que, actividades como la deforestación, sigan contribuyendo al aumento de la concentración de los GEI, ya que solo esta actividad libera un aproximado de 0,9 GtC/año según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC, 2013).

De esta manera los bosques juegan un rol fundamental al momento de secuestrar el carbono liberado por actividades, ya sean naturales o antrópicas, por eso el mantenimiento de bosques o plantaciones forestales se ha convertido en un servicio ambiental en los países en vías de desarrollo (Morales, 2001). Es así como se ven nuevas oportunidades para hacer frente al cambio climático usando los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), considerados en el Protocolo de Kioto.

5.4.2. Métodos para estimar la biomasa arbórea

La estimación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta determina el monto de carbono existente en cada uno de los componentes y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberada a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques

son manejados para alcanzar compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero. (Schlegel, 2001). Existen dos métodos para la estimación de la biomasa:

- **Método Destructivo:** Consiste en cortar los árboles y pesar la biomasa de los fustes, ramas y hojas para luego secarla; incluyen mediciones en campo, cosecha y toma de muestras de la totalidad de la vegetación. Es el método más costoso y requiere mayor tiempo.
- **Método Indirecto:** Usa modelos de regresión con variables obtenidas en el campo, se usan modelos de biomasa para cada espécimen donde los valores de diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura se transforma a biomasa con ayuda de estos modelos.

5.5. Los Bosques en el Ecuador

Según Sierra (1999), el Ecuador es un país con alta cobertura forestal, alrededor del 50% de la superficie del país es cubierta por bosque, los mismos que almacenan en su biomasa un aproximado de 1,63 GtC; sin embargo, los bosques están bajo la presión de la deforestación y la explotación de recursos (MAE 2010).

Ecuador es uno de los países con mayores tasas de deforestación en América Latina. Según datos del Ministerio del Ambiente del Ecuador en su publicación “Plan Nacional de Restauración Forestal 2014-2017” el mismo que cuenta con un nivel de confianza aceptable y es adecuadamente documentado, nos indica una tasa de deforestación de -0.71% en el período 1990-2000, mientras que para el período 2000-2008 la tasa de deforestación promedio es de -0.66%. El último cálculo se realizó en el año 2012 mediante un muestreo estratificado con el apoyo del soporte técnico de la FAO

obteniendo como resultados una tasa de deforestación de -0.54%. Cabe recalcar, que en la provincia del Azuay la deforestación promedio fue de 1058 ha/año y la tasa estimada de deforestación es de -1.19% en el período 2000-2008. (MAE, 2012).

La experiencia en actividades de forestación, reforestación y conservación en Ecuador, en el pasado fueron evidenciadas a través de planes y programas, como ejemplo se cita el PLAN BOSQUE gestionado por el Ministerio de Agricultura, que entre 1985 y 1989 logró reforestar 13 mil ha, luego el mismo Ministerio conjuntamente con el Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre crean PLANFOR, que ha reforestado alrededor de 65 mil ha entre 1993 hasta 1996. Con el Proyecto BID 808, entre 1991 y 1996, se plantaron 17 mil ha. Tales iniciativas lograron establecer un total de 95 mil ha. (MAE 2006). En el 2006 el Ministerio del Ambiente crea la Corporación Red de Bosques Privados la cual lo conforman propietarios con reservas de diferente extensión con el objetivo de mantener sus bosques intactos y desde el 2008 el mismo Ministerio implementa el Programa Socio Bosque mediante cual hasta el momento se conservan 213.242 ha.

5.6. Bosque Nativo

Los bosques y vegetación protectores a nivel nacional mediante la ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, capítulo III, Art. 6. Se consideran bosques y vegetación protectores aquellas formaciones vegetales, naturales o cultivadas, que cumplan con uno o más de los siguientes requisitos:

- Tener como función principal la conservación del suelo y la vida silvestre;

- Estar situados en áreas que permitan controlar fenómenos pluviales torrenciales o la preservación de cuencas hidrográficas, especialmente en las zonas de escasa precipitación pluvial;
- Ocupar cejas de montaña o áreas contiguas a las fuentes, comentes o depósitos de agua;
- Constituir cortinas rompe vientos o de protección del equilibrio del medio ambiente;
- Hallarse en áreas de investigación hidrológico-forestal;
- Estar localizados en zonas estratégicas para la defensa nacional; y,
- Constituir factor de defensa de los recursos naturales y de obras de infraestructura de interés público.

Por lo tanto un bosque nativo es un ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados con uno o varios estratos (MAE, 2011). El estado posee 11'307.627 ha de bosque nativo.

5.7. El Área Del Bosque Protector Aguarongo

El Área del Bosque y Vegetación Protector Aguarongo (ABVPA) se encuentra ubicado en la provincia del Azuay en las parroquias Jadán, Zhidmad, Gualaceo y San Juan -cantón Gualaceo-, San Ana –cantón Cuenca- y San Bartolomé -cantón Sigüig.

Ilustración 3. Área del Bosque y Vegetación Protector Aguarongo



Fuente: Minga (2003)

Este bosque es uno de los pocos remanentes de bosque andino de la provincia del Azuay. Fue declarado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería como Área de Bosque y Vegetación Protectora en agosto de 1985, según lo cual se protegerían 1.758 hectáreas de bosque inicialmente y, a futuro, 2.080 hectáreas (Programa Regional de Bosques Nativos Andinos, 2002). A continuación se describe las características de la zona de la siguiente manera:

5.7.1. Ubicación geográfica

El bosque se encuentra ubicado en la parte sur de la cuenca media del río Paute, cuyas coordenadas geográficas son: 78°48'54" y 78°52'22" de longitud occidental y de 2°

52'37" y 2° 59'43" de latitud sur. Las coordenadas UTM son 744000 – 9682000 y 737000 – 9668000. (Minga, 2003)

5.7.2. Factores climáticos

La temperatura media anual en el área protectora y su zona de amortiguamiento se estima entre 11,5 y 12° C en las partes más bajas y entre 9° y 10° C en la zona alta; la temperatura máxima aproximada es 22,5° C en la parte baja, 20° C en la alta y la temperatura mínima es de 0° C en algunos meses con heladas (mayo-julio, noviembre-diciembre). Las lluvias frecuentes se presentan de marzo a mayo y las sequías entre julio y septiembre; en los meses de marzo a abril pueden presentarse granizadas. (Minga, 2002)

5.7.3. Geomorfología

Las unidades geomorfológicas identificadas en el área de amortiguamiento son varias, en el norte y región céntrica del bosque están presentes relieves escarpados que de norte a sur disminuyen, en el límite inferior se identifica vertientes irregulares que descienden de zonas montañosas. El relieve se debe a la presencia de una garganta que se ha formado por el escurrimiento superficial de las aguas del río Paute. (Prado, 2015)

5.7.4. Hidrología

La zona está constituido por sub-cuencas que alimentan a tres micro-cuencas que cubren toda el área. Dos de las micro-cuencas se localizan a los extremos oriental y occidental y alimentan a los ríos Jadán y Santa Bárbara; la tercera micro-cuenca nace en el centro del área protegida, constituyendo la más importante de la zona de estudio.

Todas estas subcuencas recogen aguas por medio de pequeñas quebradas secas e intermitentes que drenan en épocas de lluvia todas las aguas. (Prado, 2015).

5.7.5. Flora

Como especies representativas los remanentes de vegetación nativa de la zona del Bosque Protector Aguarongo correspondería a la asociación vegetal dominada por *Hesperomeles ferruginea*, *Myrcianthes rhopaloides* y *Myrsine dependens*. Esta vegetación corresponde a bosques bajos, sin estratificación vertical aparente. (Baez, *et al.* 2010).

5.8. Especies Vegetales del Estudio

5.8.1. *Hesperomeles Ferruginea*

Ilustración 4. Especie Hesperomeles Ferruginea



Fuente: La autora

5.8.1.1. Información taxonómica

- Orden: Rosales
- Familia: Rosaceae
- Nombre común: Jalo

5.8.1.2. Hábitat

Crece en zonas altas húmedas entre los 3400 – 3600 msnm

5.8.1.3. Descripción

Son plantas arbustivas, escandentes o rastreras, con aguijones en las ramas, hojas simples o compuestas y frutos comestibles.

5.8.1.4. Usos

El fruto se usa para preparar dulces y mermeladas, sirve para fabricar carbón, el tallo es maderable y se utiliza en cubierta de edificios, carpintería, y para elaborar astas, lanzas y puyas. Al igual que se utiliza para leña o madera

5.8.2. *Eucalyptus Globulus*

Ilustración 5. Especie Eucalyptus Globulus



Fuente: Fonnegra, *et.al.* (2007)

5.8.2.1. Información taxonómica

- Familia: Myrtaceae
- Género: Eucalyptus
- Nombre común: Eucalipto blanco

5.8.2.2. Hábitat

Se le cultiva en áreas con temperaturas medias anuales de 12 – 18° C. en su hábitat soporta hasta ochenta heladas al año. Se lo cultiva con éxito en alturas de hasta 3600 msnm. Se adapta a una gama amplia de suelos profundos. La distribución estacional de la precipitación no es de importancia crítica para la especie.

5.8.2.3. Descripción

Árbol fácil establecer siempre verde de 40 - 55m de altura, con fuste recto, grueso, casi cilíndrico de 0,6 - 2m de diámetro y cerca de las dos terceras partes de la altura total, de rápido crecimiento y resiste los vientos y heladas. Fácilmente reconocible por su penetrante olor a alcanfor. Sus flores individuales blancas en la base de la hoja .Es muy susceptible a sequías fuertes y prolongadas, así como a suelos poco profundos o muy compactos. Frutos o capsulas simples en blanquecino, ancho, grueso, aplanado o convexo.

5.8.2.4. Usos

Usado ornamentalmente por su follaje plateado, la madera produce leña de buena calidad, en las tierras altas de los Andes se le usa como cerco vivo y barreras rompivientos para proteger pastizales y zonas de pastoreo. Sus hojas se utilizan para preparar infusiones medicinales.

5.8.3. *Pinus Radiata*

Ilustración 6. Especie Pinus Radiata



Fuente: La autora

5.8.3.1. Información taxonómica

- Orden: Coniferales
- Familia: Pináceas
- Género: Pinus
- Nombre Común: Pino

5.8.3.2. Hábitat

Esta especie se distribuye en clima sub-húmedo y per-húmedo con temperatura media de 20 a 27° C en una elevación máxima de 850 msnm.

5.8.3.3. Descripción

Este árbol puede alcanzar hasta 45 m de altura y 100 cm de diámetro. Presenta corteza grisácea cuando joven; rugosa, desquebrajada en surcos longitudinales y de color oscuro en arboles adultos. Las hojas son circulares de 1,0 a 1,5 mm de espesor y 13 a 33

cm de largo, estas vienen agrupadas en fascículos de tres agujas y en ocasiones excepcionales dos o cuatro. Las flores masculinas son amentos cilíndricos de 25 a 45 mm de largo. Los conos no son persistentes y son de forma oblonga.

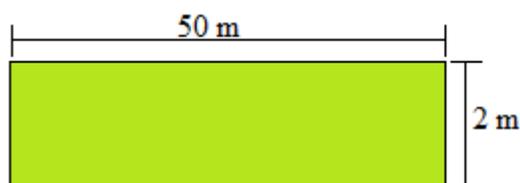
6. CAPITULO II: METODOLOGIA

6.1. Muestreo de Especies

El método de los transectos es ampliamente utilizado por la rapidez con que se mide y por la mayor heterogeneidad con que se muestrea la vegetación. Un transecto es un rectángulo situado en un lugar para medir ciertos parámetros de un determinado tipo de vegetación. El tamaño de los transectos puede ser variable y depende del grupo de plantas a medirse, Por ejemplo, A. Gentry (1995) ha desarrollado un método ampliamente usado, el cual se basa en el levantamiento de 0,1 hectárea con transectos de 2m x 50 m para medir árboles y bejucos (Mostacedo, 2000)

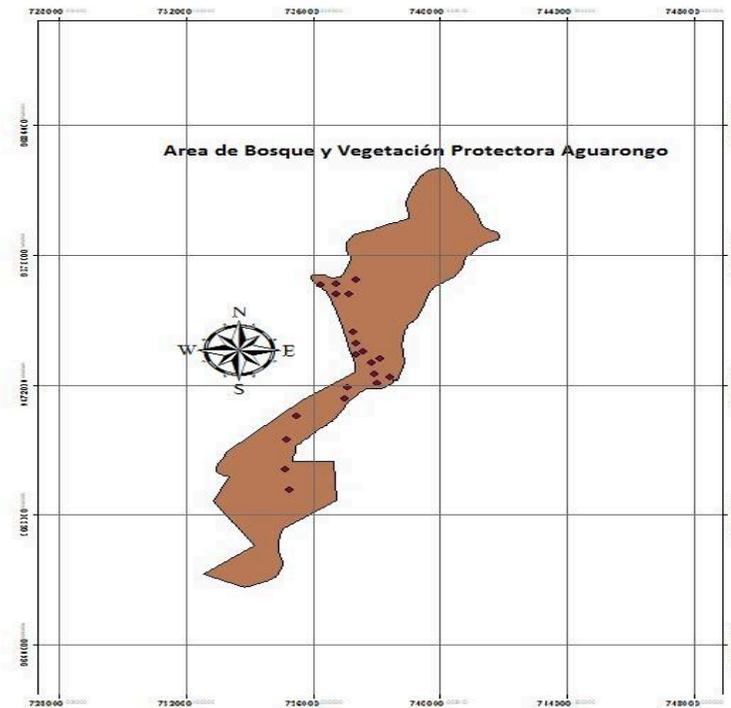
Un total de 20 transectos fueron proyectados dentro del bosque, empleando el método de transectos para la especie nativa, el mismo que para ser trazado se usó una brújula y un decámetro.

Ilustración 7. Trazado de transecto



Fuente: La autora

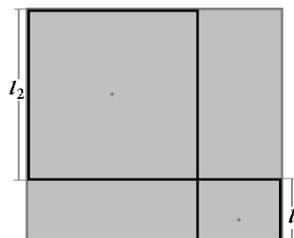
Ilustración 8. Mapa de los transectos en el Bosque Aguarongo



Fuente: La autora

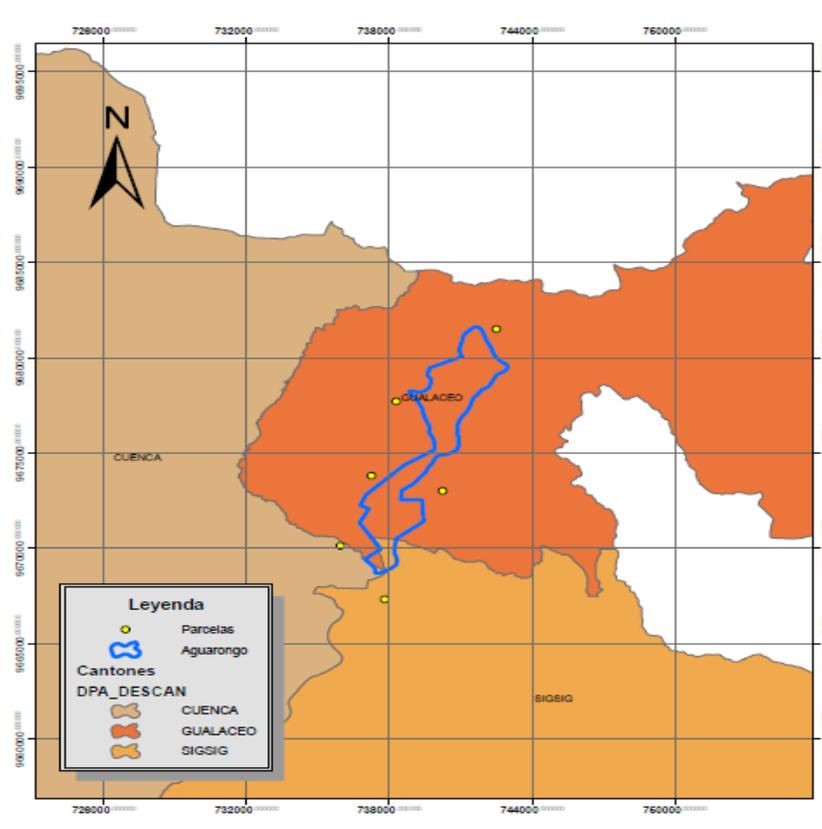
Mientras que para el muestreo de los individuos introducidos, se usó el método de parcelas, que establece el manual de campo de la Evaluación Nacional Forestal (SNF, 2012). El cual explica que las parcelas serán de forma cuadrada de 60 x 60 m. obteniéndose 6 parcelas en total.

Ilustración 9. Trazado de parcela cuadrada



Fuente: Cancino (2006)

Ilustración 10. Mapa de las parcelas en el Bosque Aguarongo



Fuente: La autora

Se identificó la ubicación de los transectos y parcelas a través de un GPS. La ubicación y elevación de cada transecto y de cada parcela fueron registradas en una ficha de campo.

6.2. Recopilación de Datos

Se estimó la biomasa con el método indirecto, es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables colectadas en terreno y en inventarios forestales (Brown, 1997). También se puede estimar la biomasa a través del volumen del fuste, utilizando la densidad

básica para determinar el peso seco y un factor de expansión para determinar la biomasa total del árbol. (Schlegel, 2001)

Para determinar las variables necesarias al momento de calcular la biomasa de las especies vegetales de estudio, se midió a cada especie que tenían $DAP \geq 10$ para lo cual se utilizó una cinta diamétrica; cada especie dentro de los transectos fue censada, también se midió la Altura del fuste con la ayuda de un clinómetro graduador de 180° y los datos fueron registrados en una ficha y en orden consecuente.

6.3. Materiales y Equipos

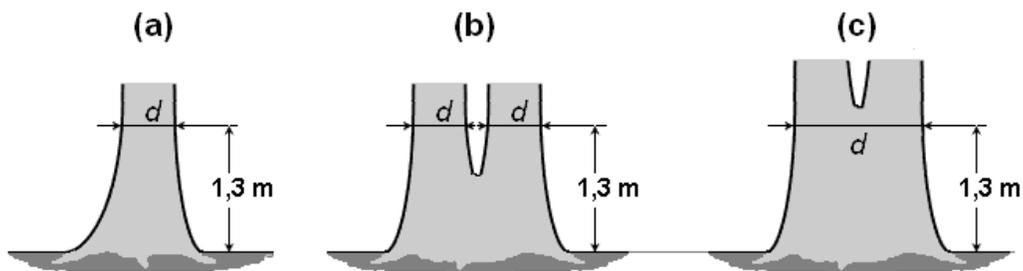
- Brújula
- Clinómetro
- Cámara de fotos
- Estacas de madera
- Formularios de campo
- Lápices y marcadores
- Cinta métrica
- Cinta diamétrica

6.4. Medición del Diámetro a la Altura de Pecho (DAP)

Para la medición de las especies vegetales que van a ser objeto de estudio se utilizará el parámetro definido como DAP (diámetro a la altura del pecho). En cada transecto se contarán a los individuos que tengan un DAP igual o superior a 10cm.

Las mediciones de DAP son utilizadas para calcular el volumen de madera, área basal y biomasa sobre el suelo (carbono) de cada árbol y posteriormente el valor de un bosque o una área de estudio. (Walker et al., 2011). El valor de altura para la medición de 1,30m sobre el suelo es la medida estándar reconocida internacionalmente. La altura de medición puede variar por la presencia de anomalías, como bifurcaciones, contrafuertes basales u otros defectos en el fuste, o por la inclinación del fuste o la pendiente del terreno.

Ilustración 11. Definición de la altura de medición del DAP en: (a) arboles rectos, normales y terreno bifurcados bajo 1,3 m de altura en el fuste; (c) arboles bifurcados sobre 1,3.



Fuente: García. (1995).

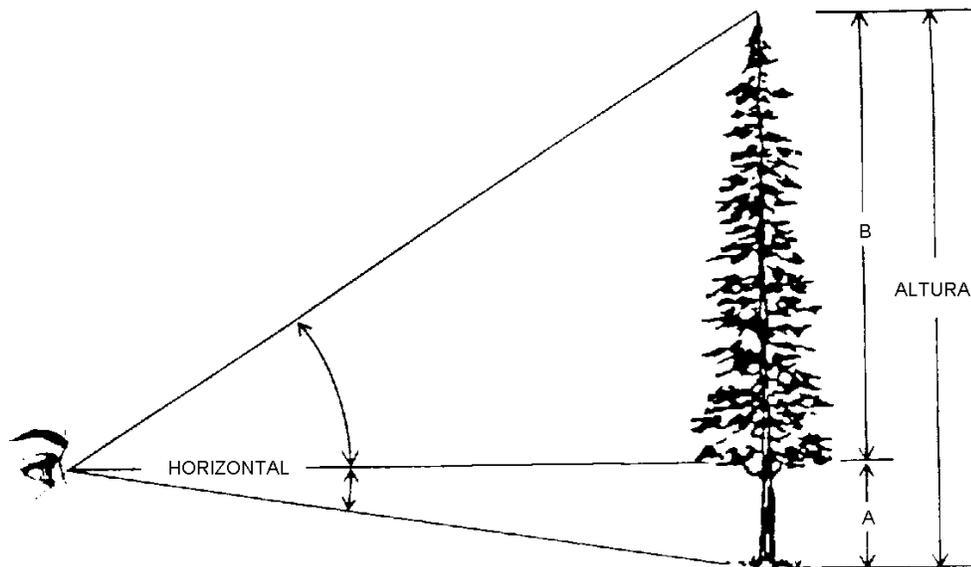
6.5. Medición de la Altura Total del Fuste

La altura es uno de los principales parámetros que se miden en una vegetación o una especie, es la longitud de línea recta desde la base del fuste hasta algún punto del árbol.

La medición se realizará con un clinómetro graduador de 180°, en éste se ha sustituido el nivel de la brújula por un péndulo fijo de 90° de la línea índice horizontal. Las lecturas con este instrumento se pueden medir en grados en la escala izquierda y en porcentaje en la escala derecha.(Mostacedo & Frederickken, 2000).

La medición de la altura de los árboles se realiza por medio de varios instrumentos, como: la tabla dendrométrica, Blume-Leiss, Suunto, Haga, el Relascopio Bitterlich.

Ilustración 12. Medición de altura de un árbol



Fuente: García. (1995).

La medición de la altura se realiza en varias etapas:

- Distancia del árbol para evitar los errores de medición, la distancia desde el árbol debe ser equivalente a su altura.
- Observación de la copa del árbol
- Observación de la base del árbol
- Adición o sustracción de los dos resultados de observación, según el caso: adición, si el operador está en pie en la parte alta de la ladera o sustracción si el operador está en pie en la parte baja de la ladera en relación con el árbol figura a y b respectivamente
- Corrección por pendiente

7. CAPITULO III: CALCULOS

En base a las mensuraciones realizadas se determinara la cantidad de biomasa, carbono y toneladas de CO₂.

7.1. Estimación del Área Basal

El área basal es la suma de la sección transversal del fuste a la altura del DAP de los arboles por unidad de superficie. (Cancino, 2006)

Se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{\pi}{4} * DAP^2$$

Dónde:

- AB= Área basal, m²
- $\frac{\pi}{4}$ = Constante
- DAP= diámetro a la altura del pecho, m

7.2. Estimación del Volumen

Según el autor Cancino en su publicación realizada en el año 2006, el volumen por unidad de muestreo se obtendrá en base a la medición del DAP y el área total del fuste, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen} = AB * H * ff$$

Dónde:

- AB= Area basal, m²
- H= altura total del árbol, m
- ff= factor de forma

El factor de forma siempre va a depender del área de estudio, para determinar el factor de forma de cada especie se usó el método de cubicación de Hohenald. (Mejía M., 2013)

7.3. Estimación de la Biomasa Forestal

La biomasa en general, es considerada como la masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado. (FAO, 2004).

La biomasa forestal se obtiene multiplicando del volumen del bosque, la densidad de la madera, el factor de expansión de biomasa aérea y factor de expansión de biomasa subterránea. (Russo, 2009).

Según las Directrices del IPCC 2006 (Intergovernmental Panel on Climate Change) el valor recomendado para los factores de expansión de biomasa aérea y subterránea es de 1,20. En cambio para la densidad de madera se propone un valor de 0,5.

La siguiente formula es empleada para obtener el valor de la biomasa del área de estudio:

$$Bf = \text{Volumen} * GE * FEBa * FEBs$$

Dónde:

- Bf= biomasa forestal, t
- GE= densidad de la madera, t/m³[0,5).

- FEBa= factor de expansión de la biomasa aérea (ramas, hojas) [1,20]
- FEBs= factor de expansión de la biomasa subterránea (raíces) [1,20]

7.4. Estimación del Carbono Almacenado en el Bosque

Se calcula a partir de los datos obtenidos de biomasa forestal del área de estudio. La fracción de carbono que se va utilizar representa las toneladas de carbono por tonelada de materia seca de la biomasa. Siguiendo con las Directrices del IPCC se aplicó un valor de 0,5 (50% del peso de los individuos es carbono). (Cancino, 2006)

El autor Russo y las Directrices del IPCC proponen la siguiente fórmula para la obtención del valor de carbono almacenado:

$$C = B * Fc$$

Dónde:

- C= carbono en toneladas de carbono
- B= biomasa
- Fc= fracción de carbono [0,5]

7.5. Estimación del CO₂ Almacenado en el Bosque

Una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂, este valor es adquirido en función de los pesos moleculares del Carbono del CO₂ de 12/44.

Una tonelada de Carbono almacenado es igual al secuestro de 3,67 toneladas de CO₂ atmosférico.

$$CO_2 = C * 3,67$$

Dónde:

- CO_2 = cantidad de dióxido de carbono capturado en toneladas de CO_2
- 3,67= fracción que se utiliza para la conversión del carbono en toneladas de CO_2 , es un valor constante.

7.6. Evaluación Estadística

En la presente investigación se utilizó el software estadístico SPSS en el cual se analizó las siguientes técnicas:

- **ANALISIS DE VARIANZAS (ANOVA)**

En investigación experimental este modelo lineal tiende a ser definido en término de grupo de medias y el ANOVA resultante es por lo tanto una prueba promedio de si los grupos de las medias son diferentes. (Alvarado Verdín, 2014).

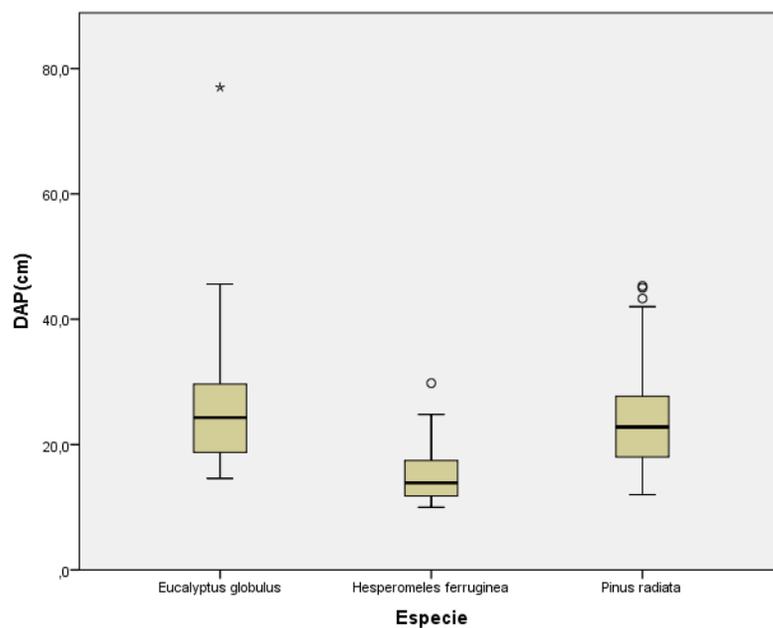
- **TUKEY**

El test HSD de Tukey permite comparar las medias de los t niveles de un factor después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA.

8. CAPITULO IV: RESULTADOS

8.1. Relación entre la Especie y el DAP

Ilustración 13. Diagrama de caja del DAP



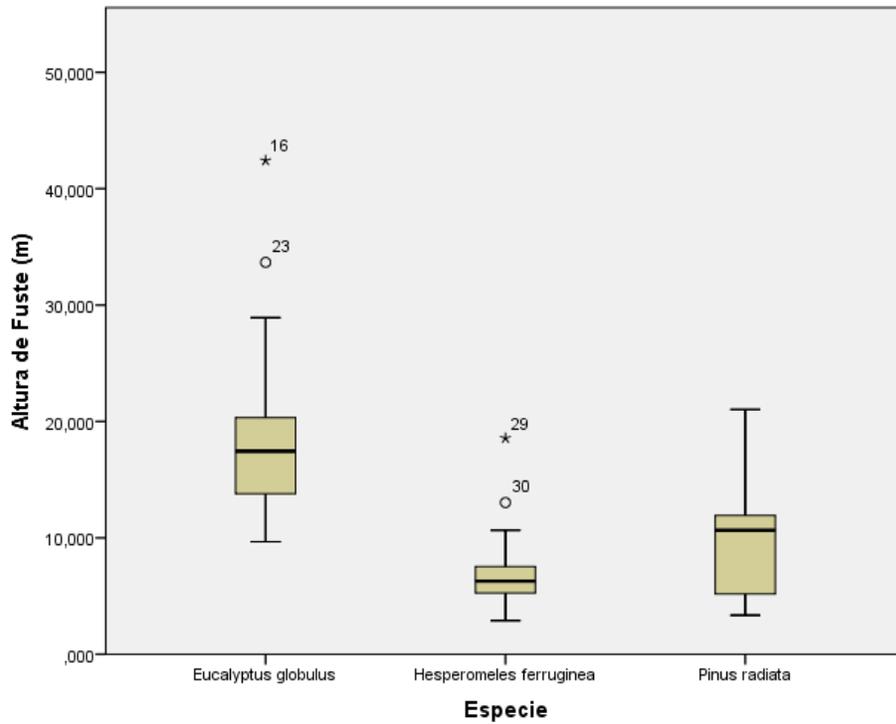
Fuente: Base de Datos

Elaboración: La autora

Las medias de cada especie demuestran que las especies introducidas *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* centran sus valores diámetros alrededor de 30 cm. En tanto que la *Hesperomeles Ferruginea* posee una media en su concentración diamétrica no mayor a los 20cm.

8.2. Relación entre la Especie y la Altura de Fuste

Ilustración 14. Diagrama de caja de la Altura de Fuste



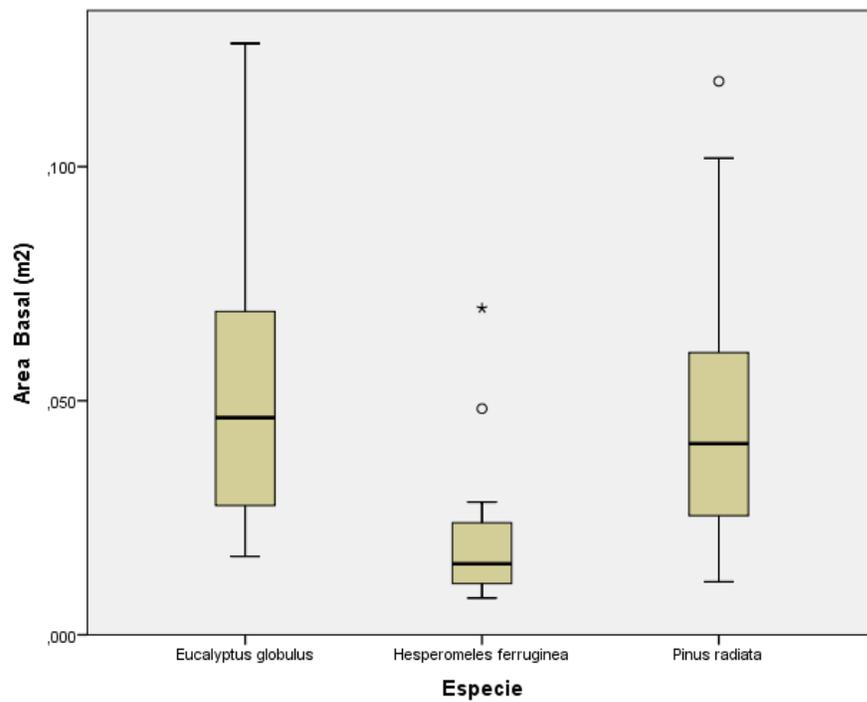
Fuente: Base de Datos

Elaboración: La autora

En la (Ilustración 14) la altura de fuste con mayor valor de medias es para el *Eucalyptus globulus* llegando a valores de 20 m, mientras que las medias del *Pinus Radiata* llega a unos 12 m y la especie *Hesperomeles Ferruginea* su media es de 8 m.

8.3. Relación entre la Especie y el Área Basal

Ilustración 15. Diagrama de caja del área basal



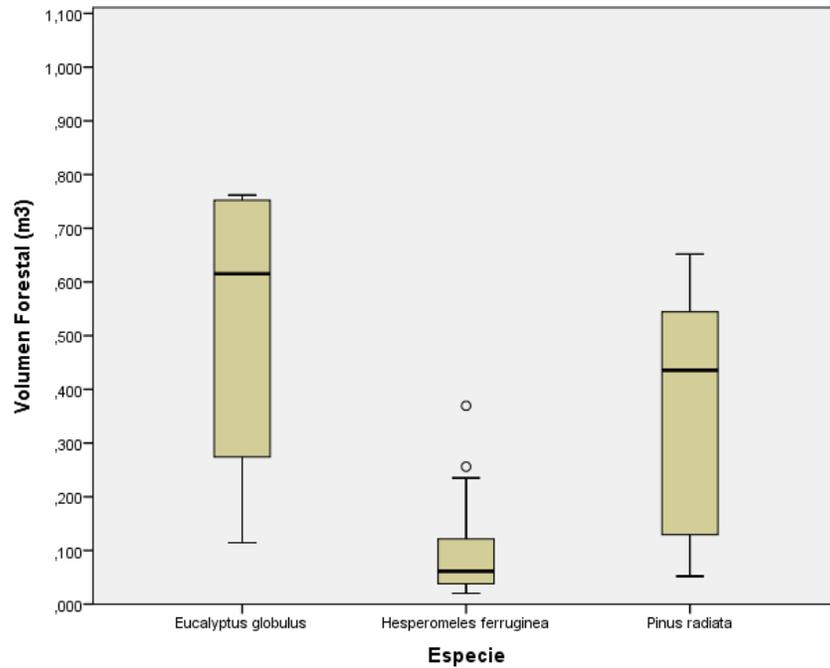
Fuente: Base de datos

Elaboración: La autora

El área basal en las medias de las especies introducidas es de aproximadamente 0,075 m² mientras que para la especie nativa es menor a 0,050 m²

8.4. Relación entre la Especie y el Volumen Forestal

Ilustración 16. Diagrama de caja del Volumen forestal



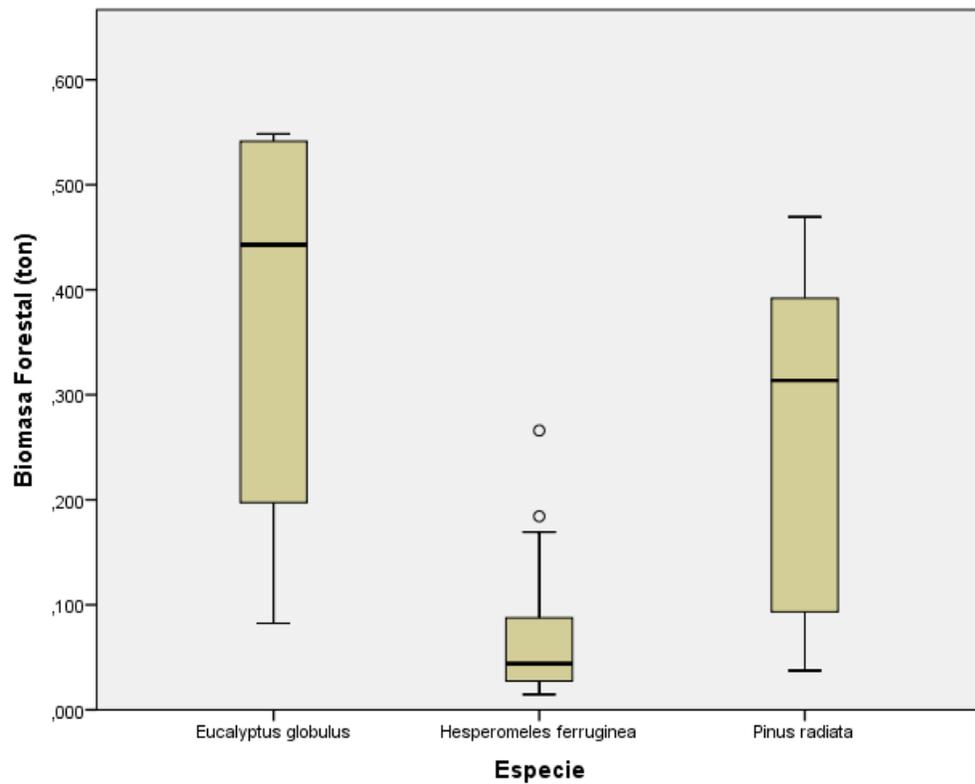
Fuente: Base de datos

Elaboración: La autora

Los resultados de las medias indican que las especies introducidas *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* poseen un valor de 0.80 m^3 y mientras que la especie nativa *Hesperomeles ferruginea* es de 0.15 m^3 .

8.5. Relación entre la Especie y la Biomasa Forestal

Ilustración 17. Diagrama de caja de la Biomasa forestal



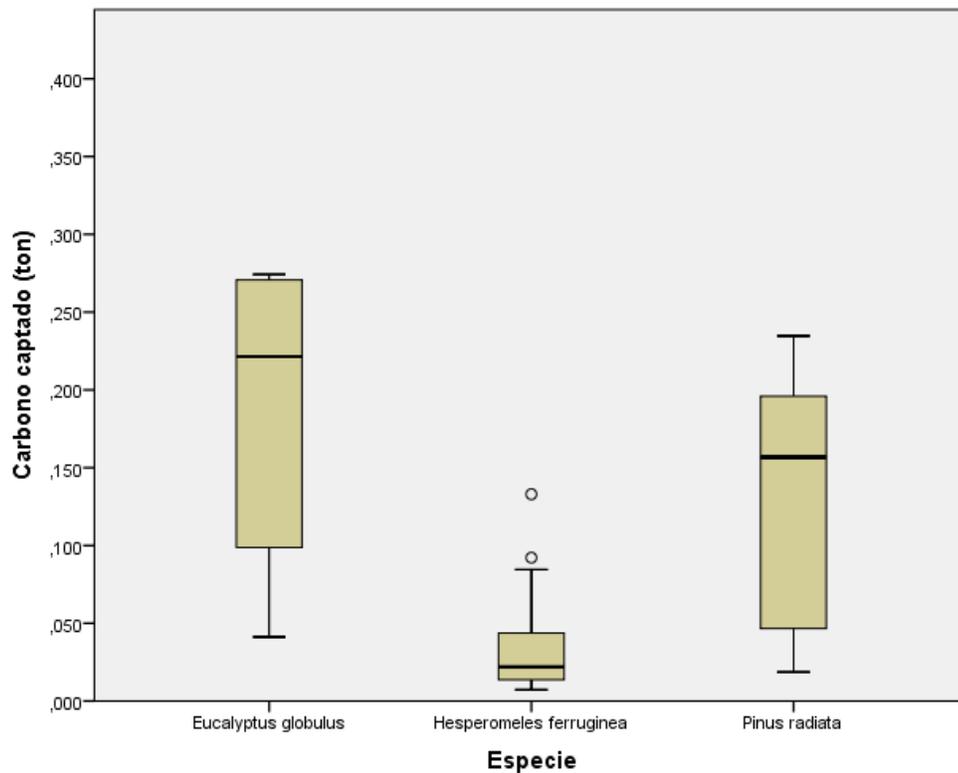
Fuente: Base de datos

Elaboración: La autora

Los cálculos para la biomasa forestal dio como resultados para la especie nativa *Hesperomeles ferruginea* un valor de las medias aproximado de 0.10 ton/ssp, para la especie introducida *Pinus radiata* el valor es de 0.3 ton/ssp y para la especie introducida *Eucalyptus globulus* el valor de su media es de 0.55 ton/ssp.

8.6. Relación entre la Especie y el Carbono Captado

Ilustración 18. Diagrama de caja del Carbono captado



Fuente: Base de datos

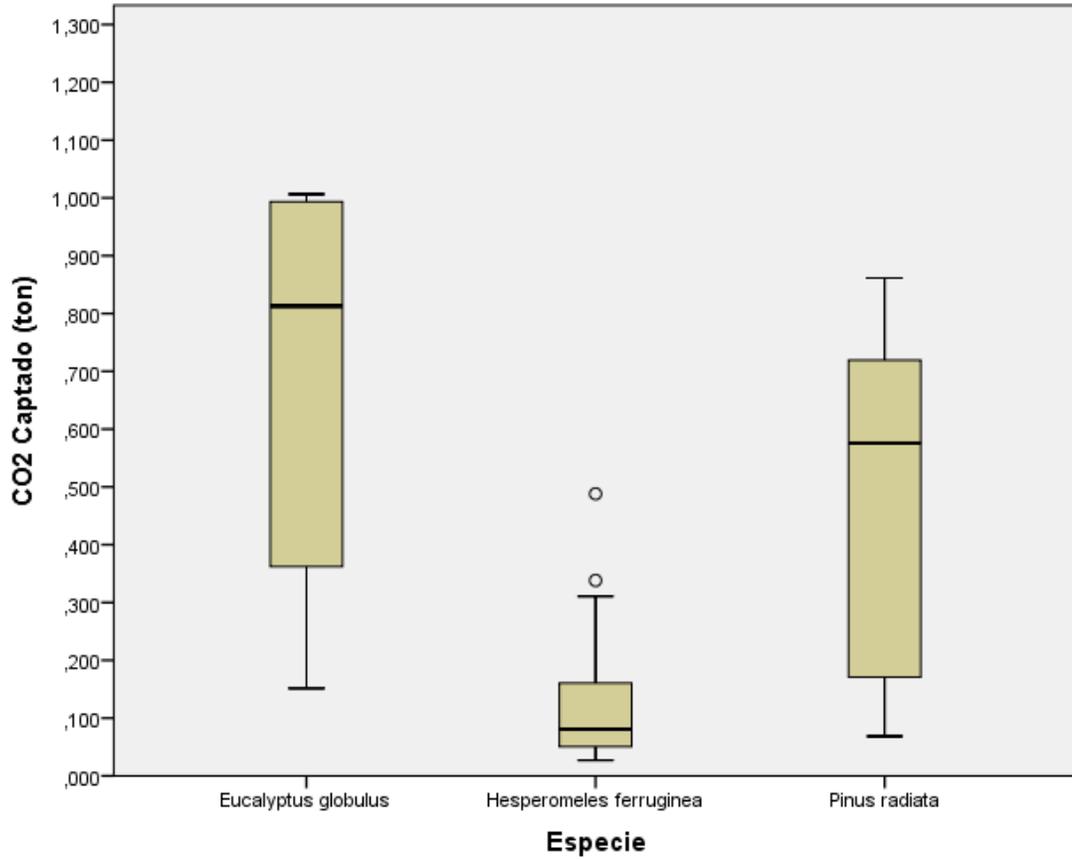
Elaboración: La autora

La cantidad de carbono captado por la especie introducida *Eucalyptus globulus* es de aproximadamente 0.22 ton/spp, el valor de la especie *Pinus radiata* es de 0.16 ton/spp y la especie de menor valor de carbono captado es la especie nativa *Hesperomeles ferruginea* con un valor de 0.02 ton/spp.

8.7. Relación entre la Especie y la Cantidad de CO₂ Capturado

Ilustración 19. Diagrama de caja del CO₂ Capturado

Relación entre la Especie y la Cantidad de CO₂ Capturado



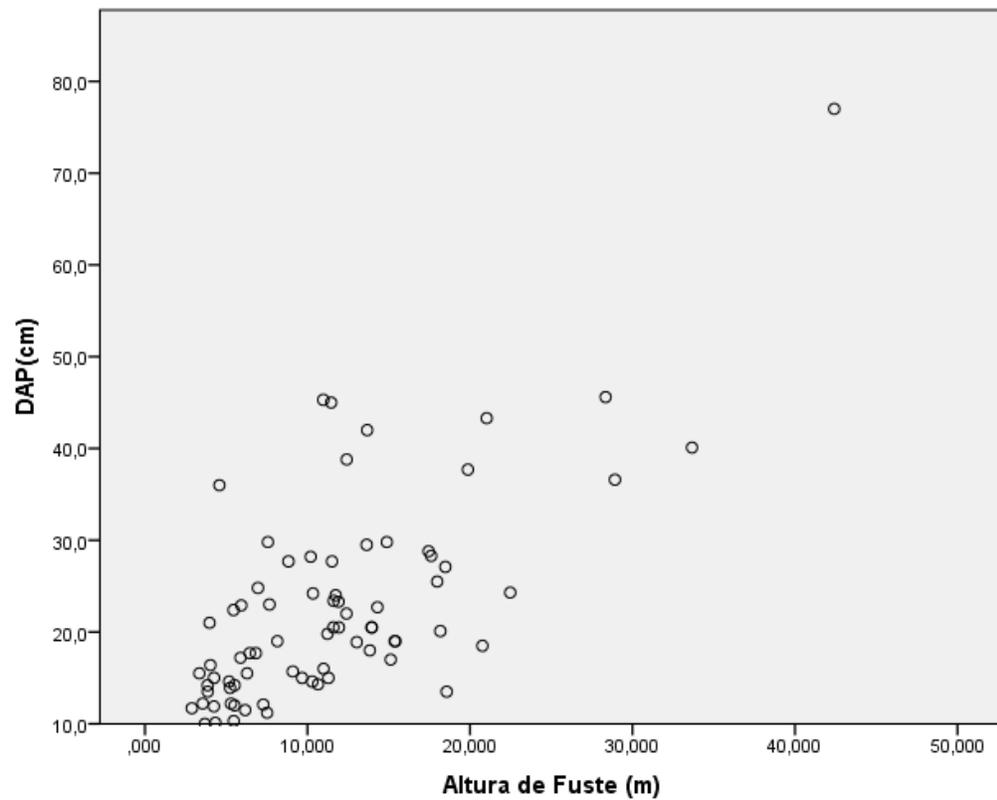
Fuente: Base de datos

Elaboración: La autora

La media de los datos registrados de CO₂ almacenados en la especie *Eucalyptus globulus* es de 0.80 ton/spp, para la especie *Pinus radiata* el valor es de 0.59 ton/spp, mientras que el valor minimo de 0.10 es para la especie nativa *Hesperomeles ferruginea*.

8.8. Relación entre el DAP y la Altura de Fuste

Ilustración 20. Cuadro de dispersión entre el DAP y la Altura de Fuste



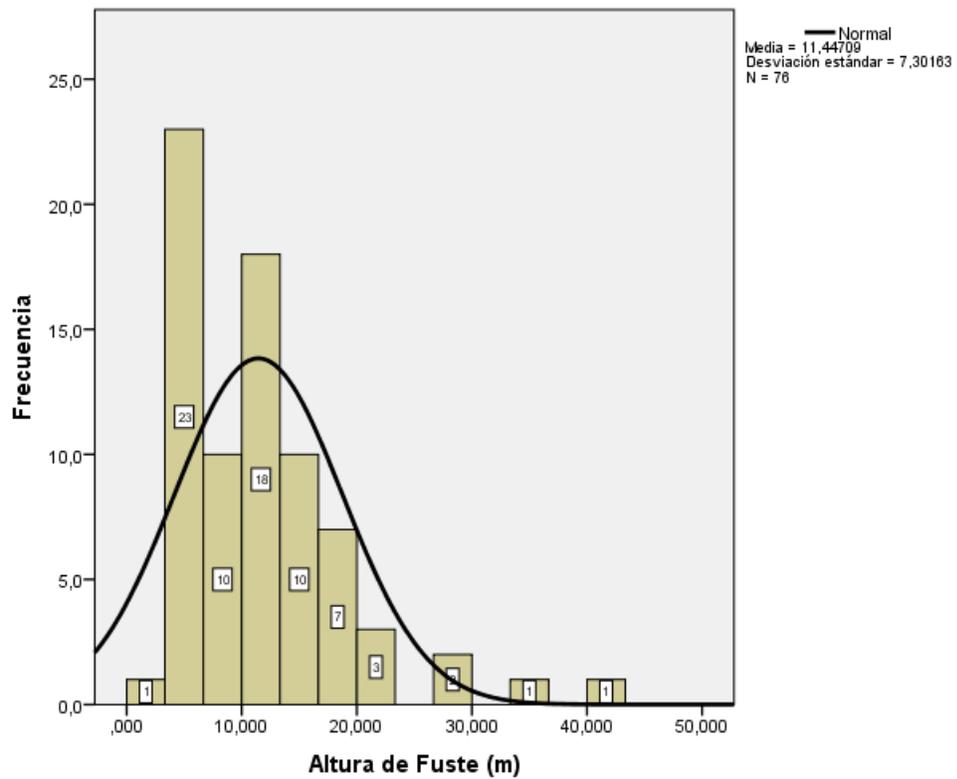
Fuente: Base de datos

Elaboración: La autora

La ilustración de dispersión da como resultado una correlación negativa es decir que a mayor altura el DAP puede ser menor la altura de fuste.

8.9. Histograma de la Frecuencia de Altura

Ilustración 21. Histograma de Altura de Fuste



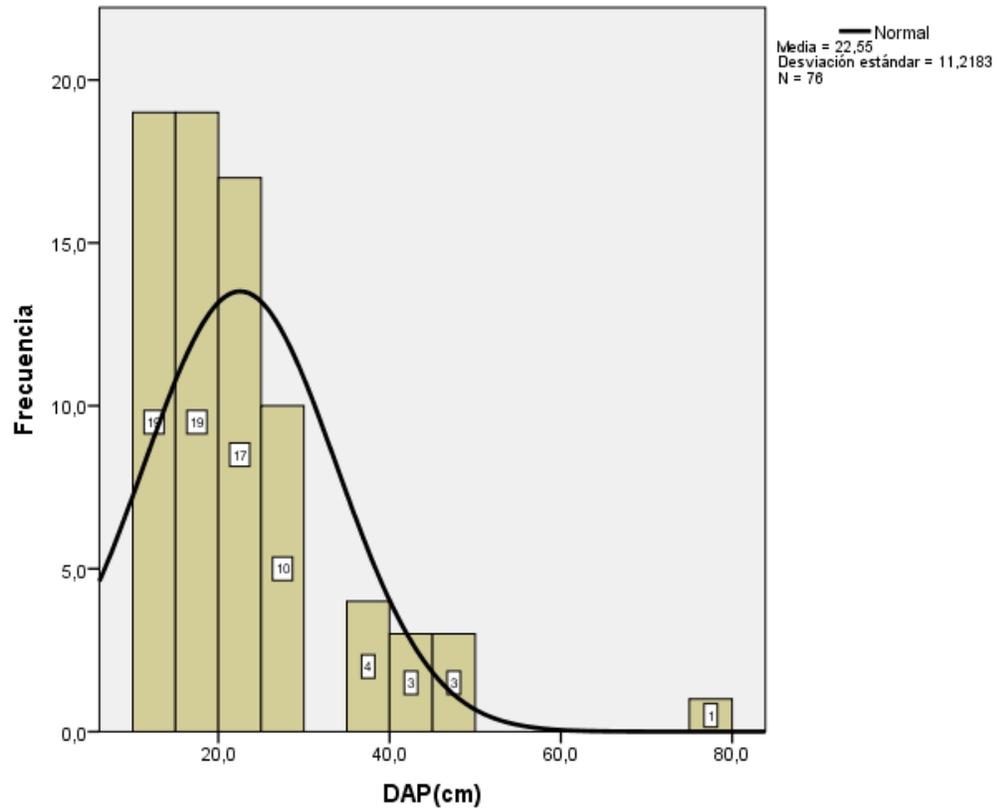
Fuente: Base de datos

Elaboración: La autora

Del análisis estadístico de las especies en estudio se determinó una altura media de 11,44 m con una desviación estándar de 7,30. La mayor concentración de especies esta entre los valores de 5 m a 20 m.

8.10. Histograma de la Frecuencia del DAP

Ilustración 22. Histograma de Frecuencia del DAP



Fuente: Base de datos

Elaboración: La autora

En el resultado del análisis estadístico de los datos de DAP de las especies se obtuvo una media de 22,5 cm y una desviación estándar de 11,22, el DAP de las especies en su mayoría se encuentra en un rango de 10 a 40 cm.

8.11. Análisis Descriptivo de los Datos

Tabla 1. Prueba Estadística de ANOVA

ANOVA					
CO2 Captado (ton)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	30,038	2	15,019	3,558	,034
Dentro de grupos	308,116	73	4,221		
Total	338,154	75			

Al realizar el análisis de la varianza (ANOVA) existe una diferencia significativa entre las especies de estudio ya que $p < 0,05$ por lo que se descarta la hipótesis nula.

Tabla 2. Prueba Estadística de Tukey

CO2 Captado (ton)			
HSD Tukey ^{a,b}			
Especie	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Hesperomeles ferruginea	23	,13408	
Pinus radiata	30	,76171	,76171
Eucalyptus globulus	23		1,73554
Sig.		,530	,222

Realizando como prueba POST-HOC a Tukey, existe una diferencia significativa entre las especies introducidas *Eucalyptus* y *Pinus* frente a la especie nativa de la zona de

estudio: *Hesperomeles ferruginea*. Debido a que las especies introducidas tienen valores de DAP y Altura de fuste significativamente mayor a la de la especie local.

Las especies de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* de rápido crecimiento no son elementos de los Andes por naturaleza, y por esto la plantación, no está en un balance ecológico natural. Estas especies consumen volúmenes altos de agua siendo esta la razón por la que se seca el suelo. Con un suelo más seco desaparece la materia orgánica, lo que no se compensa la caída de hojarasca, debido a que ésta es muy cuticulosa, homogénea y ajena a la fauna del suelo. Así, se está fijando carbono encima del suelo, pero perdiendo carbono en el suelo. (Medina, *et al*, 1999)

8.12. Proyección de Captura de CO₂ por Hectárea

$$P = \frac{CO_2 \text{ capturado por especie}}{\text{total del área muestreada}}$$

- **Para la especie nativa:**

Hesperomeles ferruginea

$$P = \frac{2,3 \text{ ton}}{0,2 \text{ HA}}$$

$$P = 11,5 \text{ ton/ha}$$

- **Para las especies introducidas**

Eucalyptus globulus

$$P = \frac{20,7 \text{ ton}}{2,16 \text{ ha}}$$

$$P = 9,58 \text{ ton/ha}$$

Pinus radiata

$$P = \frac{18 \text{ ton}}{2.16 \text{ ha}}$$

$$P = 8.33 \text{ ton/ha}$$

9. DISCUSION

El contenido de carbono por hectárea en la biomasa de la especies introducidas *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* resultó inferior a valores reportados por Gilabert, H. *et al.* (2007) el cual en su estudio «Estimación del Carbono capturado en las plantaciones de Pino Radiata y Eucaliptos relacionadas con el DL-701 de 1974» se observó un valor promedio de captura de carbono de 34,45 ton/ha para el *Pinus radiata* y de 19,91 ton/ha para el *Eucalyptus globulus*. El estudio fue realizado en plantaciones bonificadas de pino radiata y eucaliptos por lo cual existen mayor número de individuos por hectárea, además distribuyeron la superficie forestada en categorías de especie, macroregión, tipo de propietario, clase de sitio, esquema de manejo y edad.

Gamarra. (2001). utilizando el mismo método no destructivo y generando un modelo de regresión para la especie *Eucalyptus globulus* determinó una fijación de carbono bastante diferente a la del presente estudio, su valor obtenido fue de 73,03 ton/ha.

10. CONCLUSIONES

- El carbono capturado por la especie nativa para toda el área del bosque es de 23678,50 ton, este valor de captura de carbono estimado simbolizaría una pequeña parte del carbono potencial acumulado por el bosque, debido a que podría ser aún mayor si se consideraran otros componentes del ecosistema, como el suelo y el sotobosque.
- La cantidad de CO₂ capturado por las especies introducidas, es menor por hectárea, debido a que el número de individuos que se encuentran presentes por superficie es menor frente a las especies nativas. Los individuos de *Pinus radiata* y *Eucaliptus globulus* se encuentran en la zona de transición del bosque, sin embargo únicamente *Pinus Radiata* presenta individuos en el interior del bosque en escasas cantidades.
- En el bosque protector la cantidad aproximada de toneladas de CO₂ capturado por las especies en estudio es de 23 toneladas, las mismas que representarían un valor económico de 227.787,17 dólares americanos. Tomando en cuenta el precio que se ha manejado internacionalmente en transacciones de compra venta de carbono es de 9,62 dólares americanos según últimos reportes de la bolsa internacional de valores (SENDECO, 2015).

11. RECOMENDACIONES

- En lo referente a los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) siempre va a ser importante valorar este servicio ambiental, en el marco de la planificación en el uso de suelo y desarrollo sostenible.

- Se deberían realizar estudios con las demás especies nativas del bosque, de tal manera que se pueda determinar el valor económico total del bosque relacionado a la cantidad de toneladas de CO₂ capturadas por el mismo.

- Realizar mediciones de biomasa en su conjunto,

- Realizar investigaciones completas incluyendo valoraciones de necromasa para determinar así cual es la cantidad de Carbono que es capaz de secuestrar un bosque como conjunto.

- En base a las altas tasas de deforestación en el país el MAE debe de intervenir dicha problemática a través de la implementación del Programa de Restauración Forestal en ecosistemas prioritarios que contrarreste los procesos de deforestación que se dan en el país, dándole fuerza a la reforestación, con la única finalidad de disminuir las tasas de deforestación a futuro.

Al perderse el carbono del suelo existe la posibilidad de que las especies nativas tengan un mayor potencial de captura de carbono, si se considera la cantidad de carbono

que se almacena en la planta y en la fracción de suelo en la que esta se encuentra. Ya que en los suelos forestales se acumula carbono en cantidad superior a la vegetación (Pardos, 2010)

Hay que considerar que *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* son especies de un cultivo forestal con un objetivo productivo, a las que no hay como exigir un comportamiento similar a las especies autóctonas (Domingo, 2010). Es por ello que la introducción de estas especies afecta el equilibrio de carbono que existe en un bosque natural (Robert, 2002).

12. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado Verdín, V. M. (2014). *Probabilidad y estadística: Serie Universitaria Patria*. México: Larousse-Grupo Editorial Patria.
- Báez S, Salgado S, Cuesta F, Peralvo M, Galeas R, Josse C, Aguirre Z, Navarro G, Ferreira W, Cornejo X, Mogollón H, Ulloa C, León S, Stahl B, Toasa G. 2010. *Propuesta metodológica para la presentación cartográfica de ecosistemas del Ecuador Continental*. CONDESAN. Quito-Ecuador
- Bergkamp G. y Orlando, B. (1999). *Examen de la colaboración entre la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán 1971) y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Brown, S. (1997). *Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono*. XI congreso forestal mundial. US Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Western Ecology Division,, pp. 13-22.
- Cancino, J. O. (2006). *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento manejo de Bosques y Medio Ambiente. Concepción, Chile.
- Cárdenas, D. (05 de abril de 2014). Parque automotor agudiza problemas en tránsito vehicular. *El Tiempo*
- Ciesla, William. 1996. *Cambio climático, bosques y ordenación forestal Una visión de conjunto*. Roma.
- Dauber, E., Terán, J., & Guzmán, R. (2000). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana*, 1-10.
- Delgado, José. Isaza, Fernando, and Campos Romero, Diógenes. (2007). *Cambio climático: glaciaciones y calentamiento global*. U. Jorge Tadeo Lozano.
- FAO. 2007. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Pagos a los agricultores por servicios ambientales. Agricultura - 38. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- FAO. 2009. Glosario sobre el cambio climático y bioenergía. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2009. Roma:
- FAO. 2004. Términos y Definiciones. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Fonnegra Ramiro, and Jimenez Silvia L. (2007). *Plantas medicinales aprobadas en Colombia*. 2da edition.
- García, O. (1995). *Apuntes de Mensura forestal y estática*.
- Gentry A. (1982) Patterns of Neotropical Plant Species Diversity. *Evolutionary Biology* 15, 1-85.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2013). *Bases físicas Resumen para responsables de políticas*
- Gutierrez, Lenin. (2010). *Inventario Florístico Del Sector de Buga Alto, Del Bosque de Paquietancia, Cayambe-Ecuador 2008*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Ibañez, Daniel. (2011). *Efectos del cambio climático en las actividades agrarias y forestales*. España.
- IPCC (2000): “América Latina”, en Watson, R. M.; Zinyowera, M. C.; Moss, R. H. y Dokken, D. J. (Eds.), *IPCC Special Report on The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. (Disponible en la página de internet <http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/index.htm>, 10 de mayo de 2001).
- IPCC. (1996). *Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático*.
- IPCC. (2007). *Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 2007. 104 p.
- Los autos eléctricos emiten 4 veces menos CO2 que los convencionales. (22 de marzo del 2015). Diario El telégrafo Recuperado de <http://www.eltelegrafo.com.ec/>
- Minga, Nancy (coordinadora). (2002). *Plan de manejo del bosque protector de aguarongo y su área de influencia*. Comitato Internazionale per lo Sviluppo dei Popoli (CISP) y el Programa de Bosques Nativos Andinos (PROBONA) en colaboración con la Fundación Ecológica Mazán y Fundación Ecológica Riccharina). Cuenca - Ecuador

- Minga, Nancy. 2003. Una experiencia para conservar y manejar los bosques andinos en el sur ecuatoriano. *Lyonia*, 4 (2), 157-164
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014). *Programa nacional de restauración forestal con fines de conservación ambiental, protección de cuencas hidrográficas y beneficios alternos*. Quito, Ecuador
- Ministerio del Ambiente del Ecuador, (2006): *Plan nacional de forestación y reforestación*, Quito-Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador, (2012): *Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental*, Quito-Ecuador.
- Mostacedo, B. Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa Cruz de la Sierra.
- Ordoñez, J., & Masera, O. (2001). *Captura de carbono ante el cambio climático. Forum*, 3-12.
- Organización Meteorológica Mundial. (2014). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2014*.
- Organización Meteorológica Mundial. (2015). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2014*. Ginebra – Suiza.
- Organización de Naciones Unidas. (Enero, 2016). Curso de introducción a la ciencia del cambio climático.
- Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2007). *Situación de los Bosques del Mundo*. Roma.
- Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (Agosto, 2004). *Inventario forestal nacional manual de campo modelo*. Guatemala
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2008). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química*. Madrid: Paraninfo.
- Orrego, J. del Valle, J. & Moreno, F, 2003. *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia*. (Eds.) Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

- Prado, K. V. (2015). *Ordenación territorial de áreas protegidas: aplicación al área de influencia del bosque y vegetación protectora –AVBP Aguarongo*. Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador
- Pearson, T. Walker, & S. Brown, S. 2005. *Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects*. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank. 64 p.
- Programa Regional Bosques Nativos Andinos. (2002). *Plan de Manejo del Bosque Protector de Aguarongo y su área de influencia*. Cuenca: Amparo Eguiguren.
- Rodriguez, R. Jimenez, J. Aguirre, O. & Treviño, E. 2006. *Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México*. CIENCIA UANL 9: 179 p.
- Russo, Ricardo. (2009). *Guía práctica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal*. Guácimo, Limón.
- Schlegel, B. (Octubre de 2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. *Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. Valdivia, Chile
- SENDECO2. 2015. Precios CO₂. Recuperado de <http://www.sendeco2.com/es/precios-co2>
- Vásquez, A. & Arellano, H. 2012. *Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de córdoba*. Colombia. Artículo científico. 40 p.
- Walker, W., Baccini, M., Nepstad, N., Horning, D., Knighth, E., Braun & Bausch. *Guía de campo para la Estimación de biomasa y carbón forestal*. Massachusetts, USA: Woods Hole Research Center. (2011).

13.2. Anexo 2: Base de Datos

Planta	Área	Volumen	Biomasa	Carbono	CO2
1	0,03	0,26	0,18	0,09	0,34
1	0,07	0,76	0,55	0,27	1,01
1	0,02	0,13	0,10	0,05	0,18
1	0,05	0,62	0,44	0,22	0,81
1	0,03	0,29	0,21	0,11	0,39
1	0,02	0,12	0,08	0,04	0,15
1	0,06	0,71	0,51	0,26	0,94
1	0,05	0,70	0,50	0,25	0,92
1	0,02	0,15	0,11	0,05	0,20
1	0,07	0,70	0,50	0,25	0,92
1	0,03	0,31	0,22	0,11	0,41
1	0,03	0,29	0,21	0,11	0,39
1	0,02	0,11	0,08	0,04	0,15
1	0,07	0,62	0,45	0,22	0,83
1	0,03	0,39	0,28	0,14	0,51
1	0,47	13,23	9,53	4,76	17,48
1	0,11	1,49	1,07	0,54	1,96
1	0,11	2,04	1,47	0,73	2,69
1	0,16	3,10	2,23	1,12	4,10
1	0,03	0,37	0,27	0,13	0,49
1	0,02	0,23	0,17	0,08	0,30
1	0,06	0,74	0,53	0,27	0,98
1	0,13	2,85	2,05	1,03	3,76
2	0,01	0,03	0,02	0,01	0,04
2	0,01	0,03	0,02	0,01	0,04
2	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03
2	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03
2	0,02	0,12	0,09	0,04	0,16
2	0,01	0,19	0,13	0,07	0,25
2	0,03	0,26	0,18	0,09	0,34
2	0,02	0,12	0,09	0,04	0,16
2	0,05	0,24	0,17	0,08	0,31
2	0,07	0,37	0,27	0,13	0,49
2	0,01	0,06	0,04	0,02	0,08
2	0,01	0,05	0,04	0,02	0,07
2	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03
2	0,02	0,06	0,04	0,02	0,08
2	0,02	0,06	0,04	0,02	0,07

2	0,02	0,08	0,06	0,03	0,11
2	0,01	0,04	0,03	0,02	0,06
2	0,02	0,10	0,07	0,03	0,13
2	0,02	0,11	0,08	0,04	0,15
2	0,02	0,12	0,08	0,04	0,16
2	0,01	0,04	0,03	0,02	0,06
2	0,01	0,03	0,02	0,01	0,04
2	0,03	0,16	0,12	0,06	0,21
7	0,02	0,06	0,04	0,02	0,08
3	0,01	0,06	0,04	0,02	0,08
3	0,03	0,13	0,09	0,05	0,17
3	0,01	0,05	0,04	0,02	0,07
3	0,04	0,30	0,22	0,11	0,40
3	0,14	1,78	1,28	0,64	2,35
3	0,04	0,48	0,34	0,17	0,63
3	0,06	0,60	0,43	0,22	0,79
3	0,05	0,45	0,32	0,16	0,59
3	0,04	0,23	0,17	0,08	0,30
3	0,02	0,06	0,04	0,02	0,08
3	0,16	1,66	1,20	0,60	2,20
3	0,02	0,08	0,06	0,03	0,11
3	0,04	0,47	0,34	0,17	0,62
3	0,05	0,50	0,36	0,18	0,66
3	0,16	1,71	1,23	0,62	2,26
3	0,04	0,44	0,32	0,16	0,59
3	0,06	0,65	0,47	0,23	0,86
3	0,03	0,37	0,27	0,13	0,49
3	0,12	1,38	0,99	0,50	1,82
3	0,10	0,44	0,32	0,16	0,58
3	0,03	0,33	0,23	0,12	0,43
3	0,03	0,33	0,24	0,12	0,44
3	0,04	0,54	0,39	0,20	0,72
3	0,03	0,43	0,31	0,16	0,57
3	0,15	2,91	2,10	1,05	3,85
3	0,06	0,50	0,36	0,18	0,66
3	0,02	0,07	0,05	0,03	0,09
3	0,02	0,08	0,06	0,03	0,11
3	0,04	0,20	0,15	0,07	0,27

13.3. Anexo 3: Coordenadas de Transectos

Transecto	Coordenadas		Altura
	X	Y	
1	739294	9677551	3071
2	739441	9676128	3136
3	739308	9676278	3134
4	739461	9674385	3199
4	739533	9674723	3194
6	739002	9675367	3101
7	739213	9675246	3153
8	739103	9675096	3168
9	740053	9675467	3097
10	740256	9675612	3103
11	739861	9675820	3108
12	739729	9675723	3142
13	738282	9671646	3128
14	738173	9672258	3187
15	738415	9673871	3212
16	738845	9673073	3188
17	738812	9677742	3068
18	738623	9677493	3045
19	738933	9677816	3040
20	739300	9677848	3028

13.4. Anexo 4: Coordenadas Parcelas

Parcela	Coordenadas		Altura
	X	Y	
1	742495	9681497	3016
2	738279	9677704	3036
3	737245	9673806	2899
4	740232	9673008	3012
5	735936	9670122	3020
6	737796	9667326	2907

13.5. Anexo5: Imágenes de las Mediciones en Campo



