

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO
EN 3 ESPECIES FORESTALES (MARA, CEDRO Y ROBLE)
EN LA PROVINCIA CARANAVI DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ”**

EVER MARIO CHOQUEHUANCA CALLISAYA

La Paz – Bolivia

2015

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO
EN 3 ESPECIES FORESTALES (MARA, CEDRO Y ROBLE)
EN LA PROVINCIA CARANAVI DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ”**

Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo

EVER MARIO CHOQUEHUANCA CALLISAYA

Asesor:

Ing. Ph.D. David Cruz Choque

Tribunal Examinador:

Ing. Ph.D. Abul Kalam Kurban

Ing. M.Sc. Ramiro Mendoza Nogales

Ing. Johnny Ticona Aliaga

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador

**La Paz - Bolivia
2015**

DEDICATORIA

*A las personas que me dieron la vida, a mis padres y a
mis hermanos que me apoyaron en todo momento y
de manera incondicional.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco por haber llegado a este punto de mi vida a mis padres y a mis hermanos; de manera muy especial a mi abuelo, quien me guió y marco el camino a seguir por mi persona; Abuelito, que dios te tenga en su inmensa gracia.

Al personal docente de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Mayor de San Andrés por su importante tarea de formar profesionales en el campo de la agropecuaria.

Al tutor, Ing. Ph.D David Cruz, por sus acertadas sugerencias en la formulación, desarrollo y conclusión de la presente tesis de grado.

A mis revisores, conformados por los siguientes notables profesionales: Ing. Ph.D. Abul kalam Kurban, Ing. M.Sc. Ramiro Mendoza Nogales e Ing. Johnny Ticona Aliaga por las observaciones y sugerencias en el desarrollo de esta investigación.

Por último, deseo agradecer a todos los compañeros y compañeros de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés por todo lo vivido en nuestra formación profesional dentro y fuera de las aulas.

CONTENIDO GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL _____	vi
ÍNDICE DE CUADROS _____	ix
ÍNDICE DE FIGURAS _____	x
ÍNDICE DE ANEXOS _____	xi
RESUMEN _____	xii
ABSTRACT _____	xiii

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.2 HIPÓTESIS.....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 MARCO HISTÓRICO.....	5
2.1.1 <i>Desarrollo histórico del cambio climático</i>	5
2.1.2 <i>Protocolo de kyoto</i>	9
2.1.2.1 Implementación conjunta (IC)	9
2.1.2.2 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)	10
2.1.2.3 Comercio de Emisiones	10
2.1.3 <i>Mecanismo REDD</i>	11
2.2 CAMBIO CLIMÁTICO	11
2.2.1 <i>Definiciones del cambio climático</i>	11
2.2.2 <i>Causas del cambio climático</i>	12
2.2.3 <i>Consecuencias del cambio climático</i>	13
2.2.3.1 Impactos sobre sistemas y sectores	13
2.2.3.1.1 Ecosistemas.....	13
2.2.3.1.2 Alimentos	14
2.2.3.1.3 Costas.....	14
2.2.3.1.4 Industria, asentamientos y sociedad.....	15
2.2.3.1.5 Salud.....	15
2.2.3.1.6 Agua	16
2.2.3.2 Impactos sobre la región de Latinoamérica.....	16
2.2.4 <i>Opciones de Mitigación en el sector Forestal en Bolivia</i>	17
2.3 EL PAPEL DE LOS BOSQUES Y PLANTACIONES FORESTALES.....	18
2.3.1 <i>Los bosques</i>	18
2.3.2 <i>Plantaciones forestales</i>	19
2.3.3 <i>Deforestación en Bolivia</i>	20
2.4 CRECIMIENTO DE LAS ESPECIES FORESTALES	21
2.4.1 <i>Fotosíntesis</i>	21
2.4.2 <i>Crecimiento en altura</i>	21
2.4.3 <i>Crecimiento en diámetro</i>	22
2.5 ESPECIES FORESTALES.....	24
2.5.1 <i>Cedro</i>	24
2.5.1.1 Taxonomía de la especie	24
2.5.1.2 Identificación de la especie	24
2.5.1.3 Descripción del árbol.....	25
2.5.1.4 Características organolépticas de la madera	25
2.5.1.5 Usos	25
2.5.2 <i>Mara</i>	26
2.5.2.1 Taxonomía de la especie	26
2.5.2.2 Identificación de la especie	26
2.5.2.3 Descripción del árbol.....	27
2.5.2.4 Características organolépticas de la madera	27

2.5.2.5	Usos	27
2.5.3	<i>Roble</i>	28
2.5.3.1	Taxonomía de la especie	28
2.5.3.2	Identificación de la especie	28
2.5.3.3	Descripción del árbol	29
2.5.3.4	Características organolépticas de la madera	29
2.5.3.5	Usos	30
2.6	BIOMASA.....	30
2.6.1	<i>Definición</i>	30
2.6.2	<i>Generalidades</i>	30
2.6.3	<i>Cálculo de la biomasa</i>	31
2.6.3.1	Método destructivo	31
2.6.3.2	Método indirecto con relaciones alométricas	32
2.6.3.3	Métodos de cálculo para otros componentes del ecosistema	33
2.7	CARBONO	34
2.7.1	<i>Ciclo del carbono</i>	34
2.7.2	<i>Composición en carbono de las especies forestales</i>	35
2.7.3	<i>Reservas actuales de carbono</i>	36
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1	LOCALIZACIÓN	38
3.2	CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS	40
3.2.1	<i>Clima</i>	40
3.2.2	<i>Suelos</i>	40
3.2.3	<i>Recursos hídricos</i>	40
3.3	CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS	41
3.4	MATERIALES	42
3.4.1	<i>Material vegetal</i>	42
3.4.2	<i>Material de campo</i>	42
3.4.3	<i>Material de laboratorio</i>	43
3.4.4	<i>Material de gabinete</i>	43
3.5	METODOLOGÍA.....	43
3.5.1	<i>Antecedentes de las plantaciones</i>	43
3.5.2	<i>Fase de Campo</i>	44
3.5.3	<i>Fase de laboratorio</i>	45
3.5.4	<i>Análisis de la información</i>	45
3.5.4.1	Cálculo de la biomasa	45
3.5.4.2	Cálculo del carbono secuestrado.....	46
3.5.4.3	Cálculo del carbono en el suelo	46
3.5.4.4	Análisis estadístico.....	47
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	49
4.1	ALTURA.....	49
4.1.1	<i>Estadística descriptiva</i>	49
4.1.2	<i>Incremento Medio Anual (IMA) en altura</i>	50
4.1.3	<i>Análisis de varianza de medidas repetidas</i>	52
4.2	DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (DAP)	54
4.2.1	<i>Estadística descriptiva</i>	54
4.2.2	<i>Incremento Medio Anual (IMA)</i>	55
4.2.3	<i>Análisis de varianza de medidas repetidas</i>	58
4.3	BIOMASA.....	61
4.3.1	<i>Cálculo de la biomasa</i>	61
4.3.2	<i>Análisis estadístico descriptivo</i>	64
4.3.3	<i>Análisis de varianza de medidas repetidas</i>	65

4.4	SECUESTRO DE CARBONO	69
4.4.1	<i>Cálculo de carbono total en las especies forestales</i>	69
4.4.2	<i>Análisis estadístico descriptivo</i>	69
4.4.3	<i>Análisis de varianza de medidas repetidas</i>	70
4.5	CARBONO EN EL SUELO.....	74
5.	CONCLUSIONES	77
6.	RECOMENDACIONES	79
7.	BIBLIOGRAFÍA	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tasa de deforestación desde el año 1993 a 2007.....	20
Cuadro 2. Composición química de la madera.....	35
Cuadro 3. Compuestos orgánicos de la madera (% de peso seco)	36
Cuadro 4. Parámetros descriptivos de la altura (m) de las especies forestales en las tres mediciones realizadas.....	49
Cuadro 5. Incrementos Medios Anuales en altura ($m\ a\tilde{n}o^{-1}$) para las tres.....	50
Cuadro 6. Análisis de varianza de medidas repetidas para la altura.....	53
Cuadro 7. Estadísticos simples del DAP (cm) en las especies forestales en las tres mediciones realizadas.....	55
Cuadro 8. Incrementos Medios Anuales en DAP ($cm\ a\tilde{n}o^{-1}$) para las tres especies forestales.....	56
Cuadro 9. Análisis de varianza de medidas repetidas para el DAP.....	58
Cuadro 10. Ecuaciones de regresión combinada para predecir la biomasa aérea y subterránea (kg de materia seca).....	63
Cuadro 11. Parámetros descriptivos de la biomasa total (kg) de las especies forestales en las tres mediciones realizadas.....	64
Cuadro 12. Análisis de varianza de medidas repetidas para la biomasa total de las tres especies forestales.....	65
Cuadro 13. Estadísticos descriptivos de carbono total acumulado en kg de las especies forestales en las tres mediciones realizadas.....	70
Cuadro 14. Análisis de varianza de medidas repetidas para el carbono total de las tres especies forestales.....	71
Cuadro 15. Análisis físico – químico del suelo.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El proceso de la fotosíntesis..(Haygreen y Bowyer, 1996).....	21
Figura 2. Áreas de crecimiento de un árbol (Haygreen y Bowyer 1996).....	23
Figura 3. Métodos para contabilizar el carbono en Sotobosque, Hojarasca y Suelo.....	34
Figura 4. Mapa de ubicación (Quispe 2008).	39
Figura 5. Promedios acumulado del incremento de altura (m) de las especies investigadas a los 3 años de edad.	51
Figura 6. Promedios acumulado del incremento en altura (m) de las especies investigadas al cuarto año de edad.	52
Figura 7. Prueba Duncan para la altura (m) de las tres especies forestales.....	53
Figura 8. Promedios acumulados del incremento en DAP (cm) de las especies evaluadas a los 3 años de edad.	57
Figura 9. Promedios acumulados del incremento en DAP (cm) de las especies evaluadas al cuarto año de edad.	57
Figura 10. Prueba Duncan para el diámetro a la altura del pecho (cm) de las tres especies forestales.....	59
Figura 11. Diagrama de dispersión de la relación de DAP (cm) con la biomasa (kg) de los órganos de las tres especies forestales combinadas.....	62
Figura 12. Prueba Duncan para la biomasa total promedio de las tres mediciones expresado en kg de materia seca de las tres especies forestales.....	66
Figura 13. Promedios acumulados del incremento en biomasa total (kg) de las especies investigadas al tercer año de edad.	67
Figura 14. Prueba Duncan para el carbono total promedio de las tres mediciones expresado en kg de las tres especies forestales.....	72
Figura 15. Promedios acumulados del incremento en carbono total en kg de las especies investigadas al tercer año de edad.	73

RESUMEN

Día a día la deforestación a nivel mundial va en incremento, acabando no sólo con los árboles comerciales, sino también con la fauna y flora asociada a los bosques. En Bolivia tenemos un porcentaje de bosques mayor al reportado a nivel mundial, presentando aproximadamente 51'407.000 hectáreas en los nueve tipos de Bosques existentes en el país,

El secuestro de carbono es una forma de reducir el incremento de CO₂ en la atmósfera. En forma general, a finales del año 2008, se realizó una identificación de las tres especies forestales, en los predios de la Colonia Siempre Unidos. Se seleccionaron al azar 8 individuos por especie. Los individuos seleccionados al azar, se identificaron con marbetes para determinar el crecimiento y captura de dióxido de carbono hasta finales del año 2009.

En el cuarto año de edad, en las tres mediciones realizadas, se observa que la mara y el roble presentan crecimiento en altura muy similares. También es notorio que la pendiente se reduce en el cuarto año, esto significa un decremento en la tasa de crecimiento en altura (IMA).

En base a los objetivos planteados en la investigación y los resultados encontrados mediante la medición de los árboles forestales maderables de alto valor comercial, se llega a las siguientes conclusiones:

El análisis estadístico resultó altamente significativo ($p < 0,01$) para la altura de las tres especies forestales. Al cuarto año de edad se alcanzó una altura de $4,31 \pm 0,23$ m, $5,34 \pm 0,56$ m y $5,29 \pm 0,78$ m para el cedro, mara y roble respectivamente.

Al cuarto año de edad se obtuvieron los siguientes promedios de biomasa total: $4,576 \pm 1,526$ kg; $4,034 \pm 1,005$ kg y $3,796 \pm 1,040$ kg para el cedro, mara y roble respectivamente. Resultando la prueba estadística no significativo ($p > 0,05$).

Varios estudios a nivel mundial llegaron a la conclusión que el 50 % de la biomasa corresponde al carbono. Considerando el factor de 0,5 se encontró un secuestro de carbono promedio al cuarto año de $2,288 \pm 0,763$ kg; $2,017 \pm 0,503$ kg y $1,898 \pm 0,520$ kg para el cedro, mara y roble respectivamente.

ABSTRACT

Daily deforestation worldwide is on the rise , ending not only commercial trees , but also the fauna and flora associated with forests

In Bolivia we have a higher percentage of the reported global forests , presenting about 51'407.000 hectares in nine types of existing forests in the country,

Carbon sequestration is a way to reduce the increase of CO₂ in the atmosphere. In general, at the end of 2008 , an identification of the three tree species was held in the premises of the Cologne Evermeet . Randomly they selected 8 individuals per species. Randomly selected individuals were identified with tags for growth and capture of carbon dioxide until the end of 2009.

In the fourth year of age in the three measurements , it is observed that the mahogany and oak have very similar growth in height. It is also known that the slope is reduced in the fourth year , this means a decrease in the rate of growth in height (IMA) .

Based on the research objectives and the results found by measuring forest timber trees of high commercial value , you come to the following conclusions:

Statistical analysis was highly significant ($p < 0.01$) for the height of the three tree species. In the fourth year of age a height of 4.31 ± 0.23 m , 5.34 m and $5.29 \pm 0.56 \pm 0.78$ m for the cedar, mahogany and oak respectively was achieved.

The fourth year of the following average age of total biomass were obtained: 4.576 ± 1.526 kg ; $4,034 \pm 3,796 \pm 1,005$ kg and 1,040 kg for the cedar, mahogany and oak respectively. Resulting non- significant statistical test ($p > 0.05$) .

Several studies worldwide concluded that 50% of carbon corresponds biomass . 0.5 , considering the average carbon kidnapping the fourth year of 2.288 ± 0.763 kg was found; $2.017 \pm 0.503 \pm 0.520$ kg and 1,898 kg for the cedar, mahogany and oak respectively.

1. INTRODUCCIÓN

Día a día la deforestación a nivel mundial va en incremento, acabando no sólo con los árboles comerciales, sino también con la fauna y flora asociada a los bosques; es evidente no sólo la pérdida directa de biodiversidad, también existe una liberación de gases de efecto invernadero y disminución de secuestro de carbono de la atmósfera. Las emisiones derivadas de la deforestación en la década de los 90's se estimó en 5,8 Gt CO₂/año (Nabuurs *et al.*, 2007).

Aproximadamente se tiene un área de bosques de 3952 millones de hectáreas; hay 187 millones de hectáreas de plantaciones de árboles a nivel mundial representando el 5% del total de área de bosques (Nabuurs *et al.*, 2007, FAO 2001). Esta cantidad de bosques cada día va en descenso por la deforestación de nuestros bosques que son el pulmón de la tierra. Esta deforestación alcanzó a nivel mundial entre los años 2000 – 2005 una tasa bruta de 12.9 millones de hectáreas por año, como consecuencia de un cambio en el uso de suelo, que no siempre toma en cuenta la capacidad real que presenta el suelo (FAO 2006, Nabuurs *et al.*, 2007).

En Bolivia tenemos un porcentaje de bosques mayor al reportado a nivel mundial, presentando aproximadamente 51'407.000 hectáreas en los nueve tipos de Bosques existentes en el país, sin embargo, conforme la Dirección General de Gestión y Desarrollo Forestal (2013) la deforestación en Bolivia alcanzó 163000 ha/año entre el 2010 - 2013. Esta cantidad se encuentra en constante descenso por la deforestación que se presenta, estimándose la deforestación en Bolivia superior a 290000 ha de bosque anualmente (WWF Bolivia 2007).

Como puede observarse la deforestación está en aumento día a día, tanto a nivel mundial como a nivel nacional, lo cual acelera los procesos de cambios en el clima mundial a través de los gases de efecto invernadero (GEI) que provoca un aumento de la temperatura en la atmósfera, que es conocido como efecto invernadero.

El secuestro de carbono es una forma de reducir el incremento de CO₂ en la atmósfera. En forma general, el secuestro de carbono se da en cuatro componentes del bosque: árboles, vegetación del estrato inferior, suelo y superficie o piso del bosque. Se estimó que 52 – 104 Pg de carbono serían secuestrados en 50 años mediante la forestación y reforestación global, siendo de este total, el 70% en áreas tropicales (Newell, 2000; Silver *et al.*, 2000).

Conforme los anteriores datos, la concentración de CO₂ va en constante aumento por la acción antropogénica, lo cual tendrá consecuencias para todo el sistema del planeta tierra. Es en tal sentido, que en la actualidad existen numerosos proyectos referidos a la forestación y reforestación. Debido a que las plantas, en general, atrapan el CO₂ de la atmósfera por un proceso fisiológico denominando fotosíntesis.

Gracias a la fotosíntesis los árboles son un sumidero de carbono, quienes secuestran el CO₂ de la atmósfera a largo plazo minimizando las concentraciones de este gas a nivel mundial. Hay una creciente preocupación por el ciclo del C, dándose el secuestro de C bajo el mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de Kyoto (Rudbeck, 2006).

Para llegar a operacionalizar el secuestro de carbono, el mecanismo de desarrollo limpio indica que el CO₂ debe transformarse en biomasa. Se estimó que la biomasa aérea incrementó a una tasa de 6,2 tn ha⁻¹ año⁻¹ en los primeros 20 años de una sucesión de bosque, esta tasa sufrió un decremento en los 80 años de recrecimiento, alcanzado un valor de 2,9 tn ha⁻¹ año⁻¹. En cambio en plantaciones forestales el carbono aéreo se acumuló en una tasa de entre 0,8 – 15 tn C ha⁻¹ año⁻¹ en los primero 26 años después del establecimiento. Pero no sólo hay una acumulación de biomasa aérea, sino también una fijación de carbono en el suelo, donde la forestación y reforestación pueden incrementar los niveles de carbono en el perfil del suelo (Silver *et al.*, 2000; Lal, 2005).

La forestación y la reforestación tienen mucha relevancia en nuestro contexto. Ambas tienen un gran potencial en países en desarrollo. Teniendo Latinoamérica el potencial más grande para mitigar los gases de efecto invernadero. Los países en vías de desarrollo presentan 26 veces más superficie apta para las plantaciones forestales que el continente europeo. Específicamente Bolivia, presenta un área aproximada de 108 millones de hectáreas y 9 millones de hectáreas presentan una categoría apta para las plantaciones forestales. (Benítez y Obersteiner, 2006; Bailis, 2006).

Mediante la forestación y la reforestación, se pretende recuperar nuestros bosques y/o establecer plantaciones forestales. Esto, debido a que el bosque y las plantaciones cumplen diversos roles: contribuyen al desarrollo sostenible; elevan la calidad de vida en el área rural mediante provisión de madera, cortinas rompevientos, combustible, etc.; mejorando la biodiversidad del lugar; y además de dar otros servicios medioambientales como disminuir la erosión y lavado de nutrientes, mejorando las condiciones microclimáticas y proveyendo un lugar de hábitat y protección a la vida silvestre (Bailis, 2006; Silver *et al.*, 2000).

Los beneficios mencionados anteriormente son atractivos para los pobladores de un determinado lugar. Para los colonizadores de los yungas, además de esos beneficios, las especies forestales valiosas (mara, cedro y roble) presentes en sus terrenos elevan el precio de las mismas.

Considerando lo mencionado en párrafos anteriores, es importante determinar el crecimiento y por tanto la biomasa de las plantas forestales para poder cuantificar la cantidad de carbono que secuestra la especie forestal en cuestión. Este secuestro de carbono, depende principalmente de la especie y crecimiento de la planta forestal. En la literatura, se encontró variada información acerca del cálculo de biomasa y secuestro de carbono para múltiples especies forestales, pero no para estadios tempranos de desarrollo, debido a que modelos desarrollados para un rango de de

diámetros cortos puede ser más preciso en la predicción de C que modelos desarrollados con un amplio rango de clases diamétricas (Losi *et al.*, 2003).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Determinar el secuestro de carbono en tres especies forestales jóvenes: Mara (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela fissilis*) y roble (*Amburana cearensis*) en los yungas de La Paz.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el crecimiento (diámetro a la altura del pecho y altura total) a los cuatro años de edad en tres especies forestales: mara, cedro y roble.
- Cuantificar la biomasa para cada una de las tres especies forestales en estudio.
- Determinar la cantidad de carbono acumulado o secuestrado para cada una de las tres especies forestales.

1.2 Hipótesis

- Las tres especies forestales reportaron valores similares en diámetro a la altura del pecho y altura total a los cuatro años de edad.
- La cantidad de biomasa acumulada fue similar en las tres especies forestales en estudio.
- No existen diferencias en la cantidad de carbono secuestrado en las tres especies forestales.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Marco histórico

2.1.1 Desarrollo histórico del cambio climático

El aumento de la temperatura como consecuencia del aumento de la concentración de CO₂ surgió hace casi cien años con las investigaciones realizadas por el químico sueco Svante Arrhenius y el geólogo americano Thomas Chamberlin. En 1939 G.S. Callendar, observó que el calentamiento global podría deberse al aumento de la combustión de materias fósiles después de la revolución industrial. Investigaciones realizadas en el marco del año Geofísico Internacional (1957 – 1958) develaron datos contundentes mediante Charles Keeling, quien encontró un promedio de crecimiento de CO₂ del 6% entre dos periodos de tiempo (Aristizabal *et al.*, 2002).

El año 1972 es el comienzo del proceso político con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, conocida como La Cumbre de Estocolmo. En 1979, se lleva a cabo la primera conferencia mundial sobre el clima, donde por primera vez se considera internacionalmente el cambio climático como un serio problema.

En 1983, se constituyó la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida como Comisión Brundtland. En el informe subraya la necesidad de iniciar las negociaciones para un tratado mundial sobre el clima, investigar los orígenes y efectos de un cambio climático, vigilar científicamente el clima y establecer políticas internacionales para la reducción de las emisiones a la atmósfera de los GEIs.

En 1988 nació el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), como un órgano adscrito de la Organización Mundial de Meteorología (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), por función evaluar la información científica, técnica y socioeconómica relevante para el

entendimiento de los riesgos de un cambio climático generado por actividades humanas (Gallardo, 2002). El IPCC está organizado en tres grupos de trabajo. El grupo I trabaja sobre los aspectos científicos, el II sobre los impactos y adaptaciones al cambio climático, y el III sobre las posibles opciones para mitigar este cambio. Hasta la fecha han publicado tres informes generales, en 1990, 1996 y 2001. (Guijarro, 2003)

En junio de 1992 se celebra la Cumbre de Río de Janeiro. Esta convención era la más importante hasta la fecha puesto que a ella se habían suscrito 172 países, los cuales manifestaban su vehemente interés en estabilizar las emisiones de GEIs para el año 2000 a los niveles de 1990. Adicionalmente la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), sugirió la continuación de las negociaciones a través de las Conferencias de las Partes (COPs), con la idea de materializar acciones para mitigar el calentamiento global. (Aristizabal *et al.*, 2002).

Los mismos autores indican que en 1995 se efectuó la primera Conferencia de las partes (COP-1) en la ciudad alemana de Berlín, donde el objetivo principal era consolidar la voluntad de los países signatarios en cuanto al control del cambio climático global. En esta reunión se estableció una “fase piloto” abierta para todas las partes de la Convención Marco del Cambio Climático (CMCC) para llevar a cabo actividades implementadas conjuntamente (AIC).

Un año más tarde, la COP-2 (realizada en Ginebra, Suiza) reflejaría la posición de los países industrializados (con Estados Unidos a la cabeza), ratificando una vez mas los abismales intereses que separaban a los países pertenecientes al anexo I y a los países en vías de desarrollo en cuanto al tema de la reducción de emisiones. De igual forma se ratificó la fase piloto de las AIC y no se fijaron niveles o cuotas de emisiones de CO₂ u otros gases de efecto invernadero. Sin embargo, allí se da el primer paso para crear un marco jurídico vinculante que al año siguiente fue adoptado en la tercera Conferencia de las Partes. (Aristizabal *et al.*, 2002).

En Diciembre de 1997, se llevó a cabo la COP-3 en Kyoto (Japón) donde se elaboraría el marco legal bajo el cual todos los países adscritos a la CMCC se comprometían a mitigar las acciones antrópicas que contribuyeran al calentamiento global, mediante el establecimiento de normas y procedimientos que en su conjunto son conocidos como el Protocolo de Kyoto. Este acuerdo internacional, establece legalmente compromisos vinculantes a los países del anexo I para reducir colectivamente las emisiones de GEIs en una proporción superior al 5,2 % con respecto a los niveles de 1990 para el período entre el 2008 y el 2012. (Aristizabal *et al.*, 2002).

La COP-4 (1998) tuvo lugar en Buenos Aires. Adoptó un Plan de Acción de dos años para finalizar los detalles pendientes del Protocolo. Para asegurar que el acuerdo se encuentre totalmente operativo cuando entre en vigor, los gobiernos acordaron como fecha límite la COP-6 para decidir cómo funcionarán estos mecanismos. El Plan también abordó el tema del cumplimiento, políticas y medidas, y temas relacionados con la Convención como la transferencia de tecnologías favorables al clima hacia los países en desarrollo. (UNFCCC, 2002).

Bonn (Alemania), fue la sede de la COP-5 (1999) se logró un acuerdo sobre cómo mejorar el rigor de los informes nacionales de los países industrializados y cómo fortalecer las guías para medir las emisiones de gases de efecto invernadero. También se tomaron medidas para abordar los cuellos de botella en la entrega y la consideración de las comunicaciones nacionales de los países en desarrollo. (UNFCCC,2002)

La Haya (Holanda, 2000), fue sede de la COP-6, realizó avances en darle forma a un paquete de apoyo financiero y de transferencia tecnológica para asistir a los países en desarrollo a que contribuyan a la acción global sobre el cambio climático. Pero para tratar los temas políticos (el sistema internacional de comercio de emisiones, el mecanismo para un desarrollo limpio., las reglas para la contabilización de la reducción de las emisiones en los sumideros de carbono, y el régimen de

cumplimiento) se evidenciaron los marcados intereses entre los diferentes bloques, lo que puso en riesgo la estabilidad del Protocolo de Kyoto. Debido a que no se logró un consenso general, la sesión tuvo que ser postergada para el año 2001.

La continuación de la COP-6 (COP-7), fue llevada a cabo en Marrakesh (Marruecos, 2001). En esta segunda reunión, se llegó a un acuerdo en torno a las reglas para poner en vigor el Protocolo de Kioto, a pesar, de la reticencia de los Estados Unidos y el llamado “grupo sombrilla”, quienes a unísono esgrimieron que el tratado perjudicaría sus economías. (Aristizabal *et al.*, 2002).

La COP-8, se llevó a cabo en Nueva Delhi (India, 2002), finiquitó los detalles operacionales del Protocolo de Kyoto, también se hicieron importantes progresos en el fortalecimiento del flujo de apoyo financiero y tecnológico a los países en vías de desarrollo para que puedan cambiarse en el futuro a fuentes energéticas sostenibles. Los parámetros del Protocolo de Kyoto especifican cuestiones tales como: medición de emisiones y reducciones; el alcance por el cual el dióxido de carbono absorbido por los sumideros puede contabilizarse dentro de los objetivos de Protocolo; como funcionarán los sistemas de implementación conjunta y comercio de emisiones y las reglas para asegurar el cumplimiento de los compromisos adquiridos. La conferencia también eligió 15 miembros para formar el Cuerpo Ejecutivo del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Esto asegurará un pronto inicio del MDL. (Aristizabal *et al.*, 2002).

Milán (Italia, 2003), fue la sede de la COP-9, donde avanzando en aspectos tratados durante la COP-8, siendo el acontecimiento más sonado las confirmaciones y desmentidos por parte de Rusia sobre su ratificación.

La COP-10, Se llevará a cabo en Buenos Aires (Argentina, del 6 al 17 de diciembre de 2004). (Alvarez, 2005).

2.1.2 Protocolo de kyoto

Después de dos años y medio de intensas negociaciones, en la tercera Conferencia de las Partes celebrada en Kyoto (Japón) en diciembre de 1997 se aprobó una considerable ampliación de la Convención, en la que se esbozaban compromisos jurídicamente vinculantes. Era el Protocolo de Kyoto. En él se recogían las normas básicas, pero no se especificaban con detalle cómo deberían aplicarse. Se preveía un proceso independiente y oficial de firma y ratificación por los gobiernos nacionales antes de que pudiera entrar en vigor. Una ronda de negociaciones iniciada en Buenos Aires en la cuarta Conferencia de las Partes en noviembre de 1998 permitió ver claramente cómo funcionaría en la práctica el Protocolo. Este Protocolo fue firmado por 160 países. (UNFCCC, 2004)

El protocolo de Kioto estableció 3 mecanismos para facilitar lograr los objetivos de la CMCC, y ayudar a los países industrializados alcanzar sus límites, éstos conjuntamente se llaman “mecanismos flexibles”. Estos mecanismos son: Implementación Conjunta, el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el Intercambio de Emisiones y Créditos.

2.1.2.1 Implementación conjunta (IC)

Adicionalmente a los Artículos 17 y 4, la IC está concebida como un mecanismo basado en proyectos entre países del Anexo I. La idea considera una inversión hecha con el propósito de reducir emisiones de GEI, por la cual el inversor recibe como retorno de su inversión los créditos de emisión. El efecto de reducción de emisiones es calculado por comparación de las emisiones actuales con una línea de base de emisiones. La reducción de emisiones alcanzada por los proyectos de IC tienen como resultado “Unidades de Reducción de Emisiones” (Emission Reduction Units - ERUs). (PROGRAMA NACIONAL DE CAMBIOS CLIMÁTICOS, VMARNDP – MDSP, 2001).

2.1.2.2 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

El Artículo 12 del Protocolo de Kioto establece el MDL, con el propósito de ayudar a los países en desarrollo a alcanzar el desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, y asistir a los países del Anexo I a alcanzar el cumplimiento de sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de emisiones. Los proyectos MDL son de hecho muy similares a los de IC, solo que la inversión es emprendida en un país no perteneciente al Anexo I, los cuales se beneficiarán de las actividades de proyecto que resulten en “Reducciones Certificadas de Emisiones” (Certified Emission Reductions - CERs). (PROGRAMA NACIONAL DE CAMBIOS CLIMÁTICOS, VMARNDF – MDSP, 2001).

Para usar el Mecanismo de Desarrollo Limpio se debe demostrar que el proyecto sea adicional a lo que hubiese sucedido sin el apoyo del MDL y que tenga el apoyo del gobierno anfitrión. El MDL permite ahorrar créditos desde el año 2000, 8 años antes del período comprendido (2008 a 2012).

2.1.2.3 Comercio de Emisiones

El Protocolo de Kioto en su Artículo 17 suministra la posibilidad de comerciar emisiones entre los países desarrollados (países del Anexo B del Protocolo). Basadas en las emisiones de 1990 de los países del Anexo B y sus compromisos individuales cuantificados de limitación y reducción de emisiones, las “Cantidades Asignadas” de cada uno de los países del Anexo B pueden ser calculadas, en este sentido las “Partes de las Cantidades Asignadas” (Parts of Assigned Amounts - PAAs) de un país individual pueden ser comercializadas a través del Artículo 17. Este comercio será emprendido principalmente por entidades públicas, aunque se espera la participación del sector privado, lo cual aún no se ha decidido. (PROGRAMA NACIONAL DE CAMBIOS CLIMÁTICOS, VMARNDF – MDSP, 2001)

2.1.3 Mecanismo REDD

RED es el acrónimo de “Reducción de las emisiones, deforestación y degradación de los bosques” al reducir la deforestación y la degradación de los bosques se está evitando la liberación al medio ambiente de grandes cantidades de gases de efecto invernadero. Para los países en desarrollo como el nuestro, la lógica del mecanismo REDD es que los países desarrollados paguen dinero a los países en vías de desarrollo para que se implementen políticas y proyectos que detengan la destrucción de los bosques y su degradación.

Por lo anterior, en algunas propuestas, los países desarrollados reciben el derecho a quemar una cantidad de combustibles fósiles y a emitir GEI's a cambio de proporcionar fondos para la protección de bosques. Respecto a esto punto, el Estado Plurinacional de Bolivia ha cambiado de posición, lo cual se observa en los megaproyectos que el Estado quiere implementar en las áreas protegidas so pretexto de generar el desarrollo del país; esto último es corroborado con las últimas declaraciones del mandatario del país indicando que Bolivia ya no puede ser el “guardabosque de los países desarrollados” (MMAyA, 2015).

2.2 Cambio climático

2.2.1 Definiciones del cambio climático

Para el IPCC, el término cambio climático se refiere a un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el promedio y/o en la variabilidad de sus propiedades , y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos más largos. Se refiere a todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. Definición que varía de la mencionada por la CMCC(Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), quien asevera que el cambio climático es atribuido

directamente o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en periodos de tiempo comparables (IPCC, 2007).

2.2.2 Causas del cambio climático

Las emisiones mundiales de GEI causadas por actividades humanas han aumentado, desde la época preindustrial, en un 70% entre los años 1970 y 2004. Siendo el CO₂ el GEI antropogénico más importante. Entre 1970 y 2004, sus emisiones anuales han aumentado en aproximadamente un 80%, pasando de 21 a 38 Gt, y en 2004 representaba el 77% del total de las emisiones de GEI (IPCC 2007).

El mismo informe indica que entre 1970 y 2004, el incremento más importante de GEI proviene de los sectores de suministro de energía, transporte e industria, mientras la vivienda y el comercio, la silvicultura (incluida la deforestación) y la agricultura han crecido más lentamente. Los cambios experimentados por las concentraciones de los GEI y aerosoles en la atmósfera, por la cubierta y por la radiación solar alteran el balance de energía del sistema climático y son factores originantes del cambio climático.

El IPCC (2007) indica que las actividades humanas generan emisiones de cuatro GEI de permanencia variable y larga: CO₂ con una media de vida de 5 a 200 años; metano (CH₄) con una media de vida de 12 años, óxido nítrico (N₂O) y halocarbonos (Programa Nacional de Cambios Climáticos, 2008).

En la era preindustrial mundialmente se tenía una concentración de 280 ppm y en el 2005 este valor aumentó a 379 ppm. El CH₄ presentaba un valor de 715 ppmm en la era preindustrial, pero aumentó a 1732 ppmm a comienzos de los años 90. Finalmente, la concentración mundial de N₂O aumentó de 270 ppmm (preindustrial) a 319 ppmm en el año 2005 (IPCC, 2007).

Otro factor causante del cambio climático es la biota. Los bosques son una fuente de dióxido de carbono, no un sumidero; esto debido a que se talan y se queman a un ritmo de 2% anual. Se calcula que la quema de árboles añade 1000 ó 2000 millones de toneladas de carbono a las 6000 de los procesos industriales. De esta manera, la pérdida de bosques, ya de por sí una gran preocupación biológica, es también causa de alarma en el contexto del calentamiento mundial (Nebel y Wright, 1999).

2.2.3 Consecuencias del cambio climático

Conforme al IPCC (2007) los impactos de los cambios climáticos futuros son variados y numerosos conforme a sistemas, regiones y sectores, como se puede apreciar a continuación:

2.2.3.1 Impactos sobre sistemas y sectores

2.2.3.1.1 Ecosistemas

- La resiliencia de numerosos ecosistemas se verá probablemente superada en el presente siglo por una combinación sin precedentes de cambio climático, perturbaciones asociadas (inundaciones, sequías, incendios incontrolados, insectos, acidificación de los océanos), y otros originantes del cambio mundial (cambio de uso de la tierra, polución, fragmentación de los sistemas naturales, sobreexplotación de recursos).
- Durante el presente siglo, la incorporación de carbono neta de los ecosistema terrestres alcanzará probablemente un máximo antes de mediado del siglo para, seguidamente, debilitarse o incluso invertirse, amplificando de ese modo el cambio climático.
- Entre un 20 y un 30% aproximadamente de la especies vegetales y animales estudiadas hasta la fecha estará probablemente expuestas a un mayor riesgo

de extinción si los aumentos del promedio mundial de temperatura exceden de entre 1,5 y 2,5°C

- Para aumentos del promedio mundial de temperatura superiores a entre 1,5 y 2,5°C y para las correspondientes concentraciones de CO₂ en la atmósfera, la proyecciones indican importantes cambios en la estructura y función de los ecosistemas, en las interacciones ecológicas y desplazamientos de ámbito geográfico de la especies, con consecuencias predominantemente negativas para la biodiversidad y para los bienes y servicios ecosistémicos.

2.2.3.1.2 Alimentos

- Según las proyecciones, la productividad de los cultivos aumentará ligeramente en latitudes medias a altas para aumentos de la temperatura media de hasta 1 a 3°C en función del tipo de cultivo, para seguidamente disminuir por debajo de ese nivel en algunas regiones.
- En latitudes inferiores, especialmente en regiones estacionalmente secas y tropicales, la productividad de los cultivos disminuirá para aumentos de la temperatura local aún menores (entre 1 y 2°C), que incrementaría el riesgo de hambre.
- A nivel mundial, el potencial de producción alimentaria aumentaría si el promedio local de la temperatura aumentase entre 1 y 3°C, aunque encima de estos niveles disminuiría.

2.2.3.1.3 Costas

- Las costas estarían expuestas a mayores riesgos, y en particular a la erosión, por efecto del cambio climático y del aumento del nivel del mar.
- De aquí al decenio de 2080 padecerían inundaciones todos los años por efecto del aumento del nivel del mar muchos millones de personas más que

en la actualidad; en tanto que las islas pequeñas sería especialmente vulnerables.

2.2.3.1.4 Industria, asentamientos y sociedad

- Las industrias, asentamientos y sociedades más vulnerables son, en términos generales, las situadas en llanuras costeras y planicies propensas a las crecidas fluviales, así como aquellas cuya economía está estrechamente vinculada a recursos sensibles al clima, y otras ubicadas en áreas propensas a fenómenos meteorológicos extremos, especialmente allí donde los procesos de urbanización son rápidos.
- Las comunidades pobre serían especialmente vulnerables, en particular las que se concentran en áreas de alto riesgo.

2.2.3.1.5 Salud

- La situación sanitaria de millones de personas resultaría afectada, ya que agravaría la malnutrición y el número de defunciones, enfermedades y lesiones causadas por fenómenos meteorológicos extremos; aumentaría la carga de enfermedades diarreicas; crecería la frecuencia de enfermedades cardiorrespiratorias debido al aumento de las concentraciones de ozono en niveles bajos de áreas urbanas por efecto del cambio climático; y se alteraría la distribución espacial de ciertas enfermedades infecciosas.
- El cambio climático reportaría algunos beneficios en áreas templadas, ya que disminuirían las defunciones por exposición al frío, además de otros efectos parcialmente beneficiosos, como alteraciones del ámbito geográfico y del potencial de transmisión del paludismo en África. En conjunto, cabría esperar que los beneficios no compensasen los efectos perjudiciales para la salud causados por el aumento de las temperaturas, especialmente en los países en desarrollo.

- Tendrán una importancia decisiva ciertos factores que configuran la sanidad de las poblaciones, como la educación, la atención sanitaria, las iniciativas de salud pública o la infraestructura y el desarrollo económico.

2.2.3.1.6 Agua

- El cambio climático intensificará el estrés actualmente padecido por los recursos hídricos, debido al crecimiento de la población y al cambio económico y de los usos de la tierra y, en particular, a la urbanización.
- Según proyecciones, las pérdidas de masa generalizadas de los glaciares y las reducciones de la cubierta de nieve de los últimos decenios se acelerarían durante el siglo XXI, reduciendo así la disponibilidad de agua y el potencial hidroeléctrico, y alterando la estacionalidad de los flujos en regiones abastecidas de agua de nieve de las principales cordilleras.
- Los cambios en la precipitación y en la temperatura inducen cambios en la escorrentía y de la disponibilidad de agua.
- A nivel regional, la demanda de agua de riego aumentaría sustancialmente por efecto de los cambios climáticos.
- Según investigaciones, las precipitaciones de lluvias intensas aumentarán en numerosas regiones, en algunas de las cuales disminuirán los valores medios de precipitación.

2.2.3.2 Impactos sobre la región de Latinoamérica

Hacia la mitad del siglo, los aumentos de temperatura y, por consiguiente, la disminución del agua en los suelos darían lugar a una sustitución gradual de los bosques tropicales por las sábanas en el este de la amazonia. La vegetación semiárida sería progresivamente sustituida por vegetación de tierras áridas.

También podrían producirse pérdidas importantes de biodiversidad debido a la extinción de especies en numerosas áreas de la América Latina tropical. Así mismo la productividad de ciertos cultivos importantes disminuiría, así como la productividad pecuaria, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. En las zonas templadas, aumentaría el rendimiento de los cultivos de haba y de soja. En conjunto, aumentaría el número de personas amenazadas de hambre.

Finalmente los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían seriamente la disponibilidad de agua para el consumo humano, para la agricultura y para la generación de energía.

Por su parte, Nebel y Wright (1999) indican que son dos los efectos del calentamiento global: cambios climáticos regionales y un ascenso en el nivel del mar. Conforme se altera el clima, los caprichos del tiempo se harán más pronunciados y es probable que las pérdidas aumenten. También el nivel del mar se elevará a causa de dos factores: la expansión térmica de las aguas oceánicas y la fusión de hielos y glaciares.

2.2.4 Opciones de Mitigación en el sector Forestal en Bolivia

Conforme a las recomendaciones del Programa Nacional de Cambios Climáticos (2008) se presentan a continuación las medidas de mitigación al cambio climático:

- Incrementar plantaciones forestales (forestación y reforestación) con especies nativas en zonas como Valles interandinos, Altiplano y región Chaqueña dada la presencia de desertificación y degradación de sus suelos.
- Establecimiento de sistemas agroforestales en la región tropical y subtropical de Bolivia.
- Generar mecanismo de reducción de dióxido de carbono (CO₂) mediante la regeneración natural de masa boscosa en áreas que en principio estaban cubiertas con bosques y dejaron de estarlo (ampliar el periodo de barbecho).

- Promover proyectos que eviten la deforestación y degradación de los bosques.
- Fortalecer la protección y vigilancia de las áreas protegidas.
- Promover proyectos de mejora de aprovechamiento forestal incluyendo especies no maderables.
- Prevenir y reducir los incendios forestales provocados por el ser humano y la quema o chaqueos controlados durante la habilitación de tierras de cultivo.

2.3 El papel de los bosques y plantaciones forestales

2.3.1 Los bosques

Los ecosistemas normales que reciben lluvias todo el año son los bosques, esta lluvia favorece el crecimiento de los árboles. También son los más productivos que sostiene el suelo y se mantienen solos. Bosques y arboledas (ecosistemas que combinan árboles y pastos) prestan numerosos servicios naturales vitales además de dar la madera. Pese a ello la mayor amenaza para los bosques no es la mera explotación, sino la eliminación total (Nebel y Wright, 1999).

A nivel mundial se tiene aproximadamente un área de bosques de 3952 millones de hectáreas, esta cantidad representa el 30% de la superficie de la tierra. Esta cantidad va en descenso año tras año; para el periodo 2000 – 2005 la tasa de deforestación bruta reportó 12,9 millones de hectáreas por año (Nabuurs *et al.*, 2007).

Conforme Nebel y Wright (1999), esta reducción de las áreas boscosas a nivel mundial tendrán consecuencias negativas para todo el sistema terrestre, como:

- Se reduce la productividad general de la zona.
- Se reducen las reservas de nutrientes y biomasa antes almacenadas en los restos de árboles y hojas.

- Disminuye en buena medida la biodiversidad.
- El suelo está más sujeto a la erosión y a secarse.
- Se altera el ciclo hidrológico, pues el agua escurre por el suelo en lugar de que la desprendan las hojas por transpiración o que se filtre a los mantos freáticos.
- Se pierde un gran sumidero de dióxido de carbono (retirado del aire).

2.3.2 Plantaciones forestales

Aproximadamente el 4% del área forestal mundial está representada por plantaciones, que suministra una proporción sustancial de la demanda de productos de madera. Las plantaciones pueden secuestrar cuantiosas cantidades de carbono de la atmósfera, como es corroborado en numerosas investigaciones realizadas a nivel mundial, a menos que sustituyan a los bosques naturales, que suelen ser más ricos en este elemento. Teniendo el mayor potencial de secuestro de carbono las tierras agrícolas poco productivas y los lugares con suelos degradados (Trumper *et al.*, 2009).

Los mismos autores indican que las plantaciones de árboles pueden apoyar la recarga de pozos de agua subterráneos y el afloramiento del vital líquido, pero también reducir considerablemente los caudales, además de salinizar y acidificar algunos suelos especialmente en los trópicos secos.

Realizando un balance de las ventajas y desventajas de las plantaciones forestales, se puede apreciar más beneficios para todo el sistema. Según estimaciones para el año 2000 las plantaciones forestales cubrieron el 35% de cosecha de madera y se estima que este porcentaje aumentará con el transcurrir del tiempo. Esto favorecerá a la protección de bosques y áreas protegidas lo cual contribuirá a la mitigación del cambio climático a nivel mundial (Nabuurs *et al.*, 2007).

2.3.3 Deforestación en Bolivia

Cuadro 1. Tasa de deforestación desde el año 1993 a 2007.

Periodo	Tasa de deforestación anual (ha)	Fuente
Promedio 1993-2000	270333	Tasa de deforestación de Bolivia 1993-2000;BOLFOR-Superintendencia Forestal 2003
2004	275128	Avance de la deforestación en Bolivia, Superintendencia Forestal 2004
2005	281283	Avance de la deforestación en Bolivia, Superintendencia Forestal 2005-2006
2006	307211	Avance de la deforestación en Bolivia, Superintendencia Forestal 2006
2007	345376	Avance de la deforestación en Bolivia, Superintendencia Forestal 2007
Promedio 2004-2007	302249	

Fuente: Informe Nacional, Bolivia FRA 2010. Es importante aclarar que sólo se cuantificaron superficies mayores a 4,5 hectáreas (MMAyA 2013).

Como se puede apreciar la tasa de deforestación en Bolivia desde el 2004 hasta el 2007 presenta una pendiente positiva que implica un aumento de la deforestación en Bolivia. Sin embargo conforme el informe Nacional, Bolivia FRA 2010, la deforestación entre el periodo 2010 – 2013 alcanzó una superficie de 487812 ha, que aproximadamente representa a una tasa de deforestación de 163000 ha/año aproximadamente (MMAyA 2013).

2.4 Crecimiento de las especies forestales

2.4.1 Fotosíntesis

Los árboles elaboran su propio alimento mediante el proceso de la fotosíntesis, este proceso toma lugar en las hojas. Los rayos de sol son capturados por las hojas verdes y con la presencia de la clorofila, agua (del suelo) y dióxido de carbono (del aire) son combinados para formar glucosa y otros cadenas de azúcar de 5 y 6 carbonos.

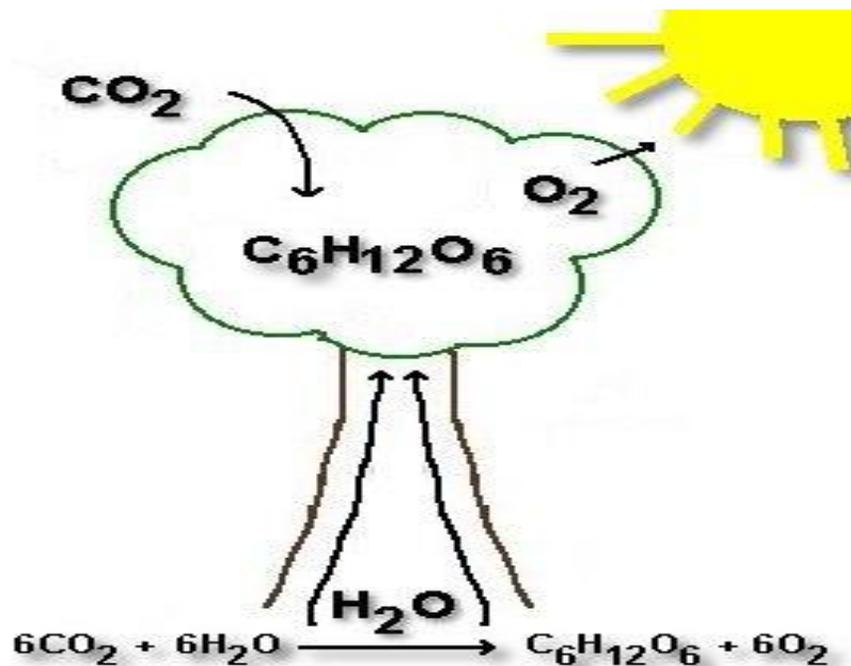


Figura 1. El proceso de la fotosíntesis..(Haygreen y Bowyer, 1996)

2.4.2 Crecimiento en altura

Típicamente la iniciación del crecimiento en altura está estrechamente relacionada con la emergencia de nuevas hojas. Es importante reconocer que los árboles crecen en altura como consecuencia de las repetidas divisiones celulares en la parte de las

células de reproducción especializadas que son empujadas hacia fuera, dejando nuevo tejido. En efecto, las nuevas células se adicionan a la cima de un columna de tejido existente; el resultado del anterior proceso es el crecimiento en altura. De la misma manera, existe un crecimiento de las ramas y de las raíces (Haygreen y Bowyer, 1996).

El crecimiento en altura en los árboles depende de varios factores, como la edad, la especie, la fertilidad del suelo, etc. En un estudio llevado a cabo por Villaroel y Schroff (1994) citado por Alvarez (2005) el *Pinus radiata* obtuvo un incremento medio anual (IMA) en altura de 0,98 m año⁻¹; 0,84 m año⁻¹; 1,06 m año⁻¹; 1,05 m año⁻¹ y 1,01 m año⁻¹ para 6, 8, 10, 14 y 23 años de edad respectivamente. Otro estudio evaluando al *Eucalyptus globulus* obtuvo diferentes valores de IMA en altura: 1,12 m año⁻¹; 1.47 m año⁻¹; 0.99 m año⁻¹ y 0.82 m año⁻¹ para árboles de 7, 12, 22 y 30 años respectivamente (Guzmán y Villaroel, 1994 citado por Alvarez, 2005).

2.4.3 Crecimiento en diámetro

Una segunda capa de células de reproducción especializadas, localizadas exactamente debajo de la corteza, se dividen repetidamente para formar nuevas células. Esta capa delgada (grosor de una célula) rodea completamente al tallo principal y a las ramas. Esta capa de células reproductivas es conocida como cambium (Haygreen y Bowyer, 1996).

Los mismos autores indican que el cambium tiene la capacidad de dividirse repetidamente. Ellos pueden dividirse en una de las dos formas. Un tipo de división resulta en dos nuevas células: una célula permanece en el cambium con la capacidad de continua división para producir nuevas células; la otra célula se adiciona a la corteza o a la madera. El otro tipo de división celular se da cuando el cambium produce dos nuevas células, ambas células permanecen en el cambium; este es el tipo de división que permite que el cambium aumente en diámetro así como el incremento en diámetro del árbol.

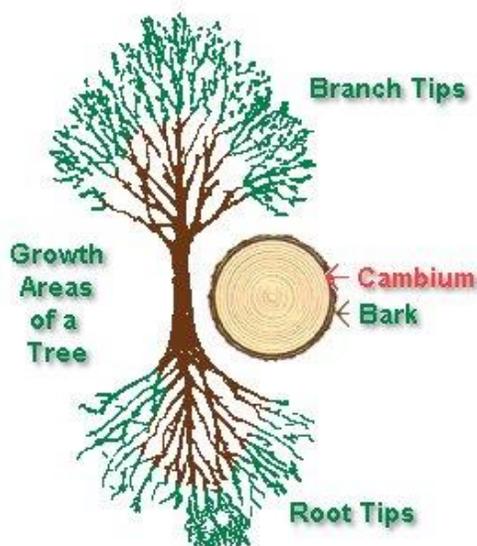


Figura 2. Áreas de crecimiento de un árbol (Haygreen y Bowyer 1996)

Así como el crecimiento en altura, el crecimiento en grosor en las especies forestales depende de muchos factores a saber, como la edad del individuo, la especie forestal, sanidad del árbol, etc.

En un estudio realizado en la ciudad de Cochabamba por Villaroel y Schroff (1994) citado por Alvarez (2005) se encontró IMA DAP de $1,41 \text{ cm año}^{-1}$; $1,20 \text{ cm año}^{-1}$; $1,41 \text{ cm año}^{-1}$; $1,39 \text{ cm año}^{-1}$ y $1,34 \text{ cm año}^{-1}$ para especies de *Pinus radiata* de 6, 8, 10, 14 y 23 años de edad respectivamente. En cambio el *Eucalyptus globulus* reportó IMA DAP de $0,94 \text{ cm año}^{-1}$; $0,98 \text{ cm año}^{-1}$; $0,87 \text{ cm año}^{-1}$ y $0,80 \text{ cm año}^{-1}$ para 7, 12, 22 y 30 años de edad respectivamente (Guzmán y Villaroel, 1994 citado por Alvarez, 2005)

2.5 Especies forestales

2.5.1 Cedro

2.5.1.1 Taxonomía de la especie

Reino	: Vegetal
Subreino	: Embryobionta
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Rosidae
Orden	: Sapindales
Familia	: Meliaceae
Genero	: <i>Cedrela</i>
Especie	: <i>C. fissilis</i>
Nombre común	: Cedro, cedro colorado, “Cedar”

(Rojas, 2000)

2.5.1.2 Identificación de la especie

Esta especie está distribuida en los bosques húmedos tropicales, subtropicales y templados; departamentos de Santa Cruz, Cochabamba, Beni, La Paz, Pando, Tarija y Chuquisaca. Es una de las más importantes especie forestal de la América tropical. Esta especie ocurre en los bosques tropicales secos, en bosques húmedos de costa y en lugares aledaños a los ríos. Se caracteriza por ser una especie decidua. Además es una especie dependiente de la luz y sus semillas son dispersadas por el viento. Es clasificada como especie muy valiosa (FAO-PAFBOL).

2.5.1.3 Descripción del árbol

Esta especie presenta una copa amplia, redonda y frondosa. Sus hojas son pinnaticompuestas alternas. El tronco es recto, más o menos cilíndrico, estrechándose al extremo; presenta aletones; el árbol llega a alcanzar una altura de 40 m. Su corteza es rugosa, de color pardo oscura con canales rojizos; además es aromática y astringente (FAO-PAFBOL).

2.5.1.4 Características organolépticas de la madera

Conforme (FAO-PAFBOL).la madera tiene las siguientes características:

- Color albura : Amarillento
- Olor : Fuerte característico
- Brillo : Brillante
- Veteado : Suave
- Color duramen : Marrón claro
- Sabor : Astringente
- Grano : Recto
- Textura : Fina

2.5.1.5 Usos

Cedrela spp., ha sido usado en la medicina tradicional como animalario, antibacterial, diurético o como un agente de cicatrización, también es utilizada para combatir la diarrea y el vómito. Su madera es muy apreciada, siendo utilizada para la construcción, elaboración de puertas, ventanas, láminas de enchape, muebles en general y marcos de puerta y ventana (FAO-PAFBOL).

2.5.2 Mara

2.5.2.1 Taxonomía de la especie

Reino	: Vegetal
Subreino	: Embryobionta
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Rosidae
Orden	: Sapindales
Familia	: Meliaceae
Genero	: <i>Swietenia</i>
Especie	: <i>S. macrophylla</i>
Nombre común	: Mara, Caoba “Mahogany”

(Rojas, 2000)

2.5.2.2 Identificación de la especie

Es una especie que se localiza en bosques húmedos y secos de meso – América y Sud – América. Es categorizado como una especie siempre verde, aunque pierden sus hojas por pocas semanas durante la estación seca. Al igual que el cedro sus semillas son dispersadas por el viento y es una especie dependiente de la luz. En nuestro medio, su área de distribución esta en el bosque húmedo subtropical y bosque húmedo tropical ; departamentos de Santa Cruz, Beni, Cochabamba y La Paz. Es considerada como una especie principal en las regiones de Bajo Paraguá, Guarayos, Choré y Pie de monte amazónico, Chiquitanía y Amazonía. Es clasificada comercialmente como una especie muy valiosa (FAO-PAFBOL).

2.5.2.3 Descripción del árbol

La mara o caoba presenta una copa amplia y redondeada; su follaje es de un color verde intenso, presentando hojas pinnaticompuestas. El tronco de la especie forestal es recto y cilíndrico, llegando a una altura total de hasta 40 metros; tiene ligero acanalamiento con contrafuertes de 2 a 3 metros de alto (FAO-PAFBOL).

2.5.2.4 Características organolépticas de la madera

Según (FAO-PAFBOL) la madera presenta:

- Color de la albura : Blanco amarillento
- Olor : No distintivo
- Brillo : Brillante
- Moteado : Suave
- Color duramen : Marrón rojizo
- Sabor : No distintivo
- Grano : De recto a entrecruzado
- Textura : Fina

2.5.2.5 Usos

Es una especie forestal en extinción. Su madera es la más comerciable en Bolivia, siendo de primera clase, considerada noble. Los rodales de Mara en el departamento de Santa Cruz están casi extinguidos, proceso que se está dando en el departamento de La Paz; solamente quedan en el Beni, donde se está dando una explotación de tal manera que dentro de 20 años se extinguirá. La mara es una especie potencial para ser utilizado en sistemas agroforestales como en cultivos de sustratos múltiples, callejones forrajero de estratos múltiples, cortinas rompevientos de tres hileras y barbechos mejorados (Rodríguez, 2000).

Los usos finales de la madera son en la industria de la construcción, para la elaboración de puertas, ventanas, marcos, láminas de enchape, parquet y pisos, muebles y en general productos de la ebanistería (FAO-PAFBOL).

2.5.3 Roble

2.5.3.1 Taxonomía de la especie

Reino	: Vegetal
Subreino	: Embryobionta
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Rosidae
Orden	: Fabales
Familia	: Fabaceae
Genero	: <i>Amburana</i>
Especie	: <i>A. cearensis</i>
Nombre común	: Roble, Soriocó, “Cerejeira”

(Rojas, 2000)

2.5.3.2 Identificación de la especie

Su área de distribución es desde los bosques húmedos subtropicales hasta bosque húmedo templado, encontrándose en los departamentos de Santa Cruz, Beni y Tarija. Es considerada como una especie principal en las regiones de la chiquitanía, Bajo Paraguá, Pie de monte amazónico y frecuente en Guarayos y la Amazonía. Es catalogada comercialmente como especie muy valiosa (FAO-PAFBOL).

El roble es un especie forestal de pequeña a mediana talla, el cual llega a alcanzar aproximadamente 30 metros de altura. El rango de su DAP varía de 40 – 110 cm. Su ocurrencia se sitúa a una altitud de 500 – 1000 m. Existe una concentración de

especies asociado a suelos profundos y ricos (luvisoles), también está asociado a suelos calcáreos (Leite, 2005).

2.5.3.3 Descripción del árbol

El roble presenta una copa mediana, de follaje verde intenso con hojas compuestas imparipinnadas. El tronco es recto cilíndrico, con una altura total de hasta 30 metros. La corteza presenta una resina aceitosa, volátil, fragante, usada medicinalmente (FAO-PAFBOL).

La corteza presenta numerosa lenticelas. Su inflorescencia es racemosa, el cual puede ser axilar o terminal. Las flores de 3 a 15 miden cada una 7 – 10 mm en longitud. Su fruto es una vaina dehiscente de color marrón oscuro; sus semillas son típicamente elípticas de 17 mm de longitud (Leite, 2005).

2.5.3.4 Características organolépticas de la madera

Conforme FAO-PAFBOL, la madera tiene las siguientes particularidades organolépticas.

- Color de la albura : Blanco amarillento
- Olor : Fuerte característico, agradable
- Brillo : Brillante
- Veteado : Intenso
- Color duramen : Marrón amarillento
- Sabor : No distintivo
- Grano : Entrecruzado
- Textura : Suave

2.5.3.5 Usos

Las semillas son utilizadas para la elaboración de perfumes y jaboncillos, gracias a la presencia de cumarina, que es un repelente contra insectos. El extracto de las semillas es un inhibidor de la coagulación de la sangre. En la medicina tradicional la semilla y la resina presente en la corteza contiene un aceite volátil fragante; siendo la semilla preparada en té un remedio contra los trastornos del estómago e intestinos; además el preparado de la corteza es usado para combatir los resfríos (Leite, 2005).

Los usos finales de la madera de esta especie forestal es para la construcción, para la fabricación de puertas, ventanas, marcos de puertas y ventanas, láminas de enchape, muebles en general, parquet y pisos (FAO-PAFBOL).

2.6 Biomasa

2.6.1 Definición

La biomasa es la masa de la materia biológica. Por lo regular la masa total de cierto grupo o categoría, por ejemplo la biomasa de los árboles, la biomasa del sotobosque, etc. (Nebel y Wright, 1999).

2.6.2 Generalidades

Los ecosistemas están formados por una parte biótica y otra parte abiótica. En la parte biótica están numerosos organismos, los cuales pueden ser clasificados en diferentes categorías:

- Productores
- Consumidores
- Saprófitos y descomponedores

Los productores son principalmente plantas verdes, en los cuales están incluidos las especies forestales; los vegetales elaboran todas sus complejas moléculas a partir de la glucosa producida por fotosíntesis y unos pocos nutrientes, como nitrógeno, fósforo, potasio y azufre que absorben del agua o del suelo. Los organismos productores presentan tasas de acumulación de biomasa diferentes, según la especie, el tiempo, la edad, etc. (Nebel y Wright, 1999).

Los árboles y todos los componentes bióticos de un bosque o un determinado ecosistema presentan una biomasa. Biomasa que puede ser calculado por numerosos métodos según las condiciones y la especie con la que estemos realizando el cálculo.

2.6.3 Cálculo de la biomasa

En términos generales existen dos métodos para cuantificar la biomasa en las especies forestales. Ambos métodos son ampliamente utilizados para cuantificar la biomasa en bosques de todo el mundo.

2.6.3.1 Método destructivo

Lo ideal para determinar la biomasa de un bosque es tumbar los árboles, secarlos y pesarlos; pero esto en la realidad no es posible por los múltiples inconvenientes que presenta. Por ello se ideó el método alométrico o regresional, el cual consiste en relacionar mediante una ecuación matemática, el peso seco de los componentes arbóreos (tallo, rama, raíz, etc.), con el DAP u otra variable independiente del árbol. Esto se logra a través del muestreo destructivo de los árboles seleccionados en el rodal o parcela. Los árboles seleccionados se pesan en su totalidad y con esa información se ajustan regresiones, las que se aplican a cada uno de los árboles del

rodal, obteniéndose la biomasa total como la suma de los pesos secos de los árboles individuales. (FONDEF, 2002 citado por Alvarez, 2005).

En términos generales el objetivo del muestreo destructivo de los árboles es generar información confiable para la elaboración de funciones de biomasa total para cada una de las especies de interés y para algunos tipos de bosque. Debido a los altos costos que significa realizar este tipo de muestreos es que se elige una muestra de los árboles, a los cuales se miden las variables necesarias y que luego se utilizan para elaborar las funciones. (FONDEF, 2002 citado por Alvarez, 2005).

La selección de los árboles a incluir en el muestreo destructivo debe cumplir en lo posible algunos aspectos de diseño de muestreos. Deben provenir de la población de interés, deben representar las especies más importantes del bosque y deben representar todas las clases de tamaño. Asimismo los árboles seleccionados deben ser de la manera menos subjetiva posible y más aleatoria con todas las restricciones que puede tener el volteo de los individuos. (FONDEF, 2002 citado por Alvarez, 2005).

2.6.3.2 Método indirecto con relaciones alométricas

Otra forma de cuantificar la biomasa es con el simple reemplazo de variables del árbol en una función. Se tienen infinitas funciones a nivel mundial tal como se muestra algunos ejemplos de ellas en el anexo 1. El método de uso de funciones alométricas o matemáticas para estimar la biomasa en el estrato arbóreo se inicia con la medición de las variables de diámetro a la altura del pecho y altura total o comercial y luego se estima la biomasa comercial o total dependiendo de la disponibilidad de funciones estimadoras (Alvarez, 2005).

2.6.3.3 Métodos de cálculo para otros componentes del ecosistema

Para los demás componentes del ecosistema existen también dos formas de cálculo de la biomasa, uno considera la toma de datos en terreno que se combina con el inventario de árboles. Esta información de terreno, consiste en muestras para determinar el contenido de humedad del material vegetal, y en el peso del material vegetal de cada parcela, para determinar la biomasa del componente y utilizando factores de reducción se determina el carbono (figura 3) (FONDEF, 2001 citado por Alvarez, 2005).

El otro método es utilizando factores de expansión de la biomasa arbórea a biomasa total del sistema, que estén disponibles de otros estudios. Esta segunda opción, indirecta, debe utilizarse con precaución dada la variabilidad de situaciones que se encuentran y dado que los factores de expansión que se generan son particulares de cada sitio (FONDEF, 2001 citado por Alvarez, 2005).

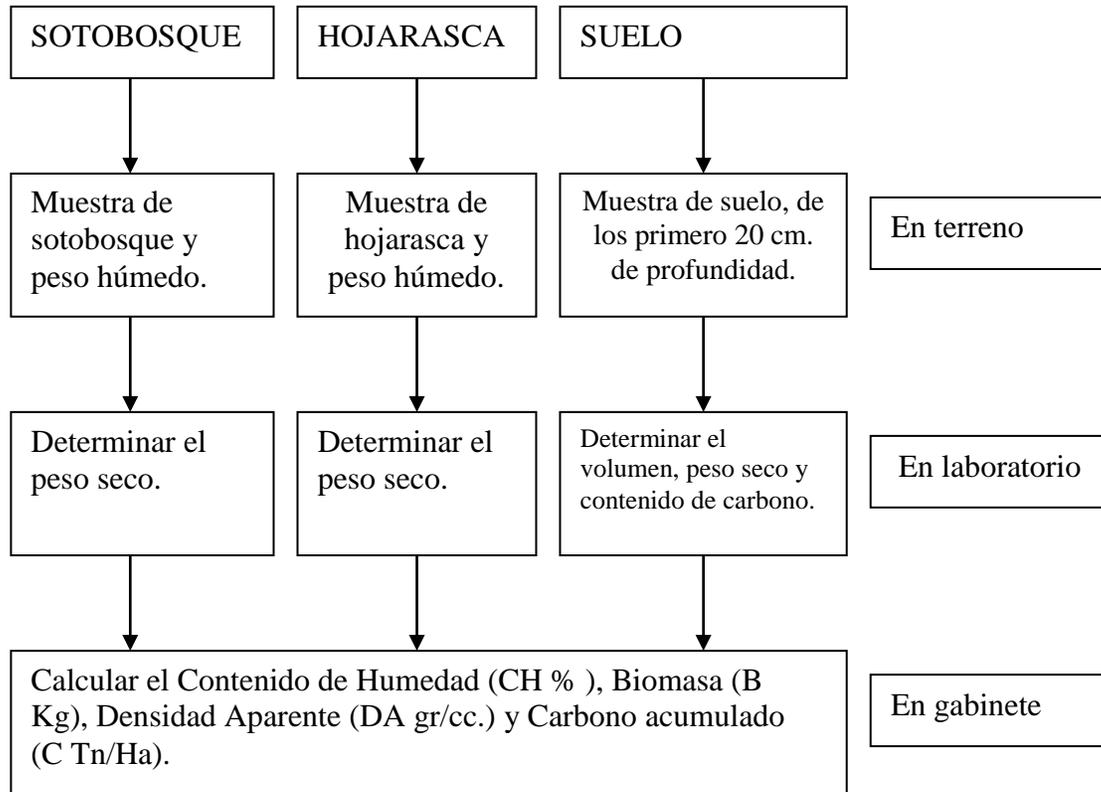


Figura 3. Métodos para contabilizar el carbono en Sotobosque, Hojarasca y Suelo.

2.7 Carbono

2.7.1 Ciclo del carbono

Existe una reserva de de moléculas de dióxido de carbono del aire y de las disueltas en el agua. Por medio de la fotosíntesis y posteriores procesos metabólicos, los átomos de carbono del dióxido de carbono se vuelven parte de todas las moléculas orgánicas que conforman una planta. Por las cadenas alimentarias, lo átomos pasan a los tejidos de otros organismos del ecosistema; sin embargo, no es probable que el mismo átomo pase por muchos organismos en un solo ciclo, porque en cada paso hay muchas oportunidades de que el consumidor descomponga la molécula en la

que se encuentra durante la respiración celular. Cuando esto ocurre, los átomos de carbono son devueltos al ambiente en moléculas de dióxido de carbono, lo que completa un ciclo y, desde luego, comienza otro (Nebel y Wright, 1999).

Los mismos autores indican que después de calcular la cantidad de dióxido de carbono de la atmósfera y el monto de la producción primaria (fotosíntesis) en la biosfera, los científicos han concluido que, cada año, alrededor de un tercio del total de dióxido de carbono atmosférico se gasta en la fotosíntesis, y que una cantidad igual regresa a la atmósfera por respiración celular. Esto significa que, en promedio, cada átomo de carbono completa un ciclo de la atmósfera a uno o más seres vivos y dé vuelta a la atmósfera cada tres años.

2.7.2 Composición en carbono de las especies forestales

Conforme análisis químicos, la madera es una sustancia compleja que está conformada de compuestos orgánicos, las cuales están organizadas en redes de estructuras de células intrincadas. Al ser los árboles organismos biológicos, están conformados de los tres elementos básicos de la química orgánica, su distribución es detallada en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición química de la madera.

Elemento	% del peso seco
Carbono	49
Hidrógeno	6
Oxígeno	44
Nitrógeno	Pequeña cantidad
Cenizas	0,2 – 1,0

(Haygreen y Bowyer, 1996)

Básicamente la madera está compuesta de las siguientes sustancias orgánicas:

- Celulosa
- Hemicelulosa
- Lignina

Estos tres compuestos comprenden casi la totalidad del extracto libre de peso seco de la madera. En promedio, la proporción de celulosa, hemicelulosa y lignina difiere entre especies de madera blanda y dura (cuadro 2).

Cuadro 3. Compuestos orgánicos de la madera (% de peso seco)

	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Madera blanda	40 - 44	15 - 35	18 – 25
Madera dura	40 - 44	20 - 32	25 – 35

(Haygreen y Bowyer, 1996)

2.7.3 Reservas actuales de carbono

Aproximadamente 2100 Gt C son almacenados por los ecosistemas terrestres, esta cantidad de carbono se encuentra en organismos vivos, hojarasca y materia orgánica del suelo, lo que equivale casi al triple del que se encuentra presente en la atmósfera. En el mundo hay numerosos tipos de ecosistemas, los cuales almacenan distintas cantidades de carbono dependiendo de la composición de sus especies, el tipo de suelo, el clima y otras características (Trumper *et al.*, 2009).

También indican que las mayores cantidades de carbono se almacenan en los trópicos, sobre todo como biomasa, y en los ecosistemas de latitudes elevadas, donde las reservas se localizan, en la mayoría de los casos, en las capas de suelo permanentemente congeladas (*permafrost*) y en la turba.

Realizando una división del mundo en siete biomas, calcularon que los bosques tropicales y subtropicales almacenan la mayor cantidad de carbono, casi 550 Gt. Le sigue en magnitud el bioma de bosque boreal con reservas de carbono de 384 Gt. Aunque los desiertos y los matorrales secos tienen muy poca biomasa superficial, son reservorios importantes de carbono en el suelo y abarcan área muy extensas, de modo que es notable su contribución total al almacenamiento de carbono. Por otro lado, el bioma de la tundra cubre el área más pequeña, pero tiene la densidad más alta de almacenamiento (Trummer *et al.*, 2009).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

Se evaluaron tres especies forestales establecidas en la Colonia Siempre Unidos del Cantón Carrasco La Reserva perteneciente a la provincia Caranavi del Departamento de La Paz. Carrasco La Reserva se encuentra a unos 24 km de la ciudad de Caranavi y este último se encuentra a unos 152 km de la ciudad de La Paz (Quispe 2008).

Geográficamente la región se halla en las coordenadas de 67 grados 31 minutos y 43 segundos de Longitud Oeste y 15 grados, 43 minutos y 14 segundos de Latitud Sur, la altitud es de aproximadamente 1144 m.s.n.m. (figura 4). La figura 4 representa la ubicación del lugar, este mapa de ubicación fue colectado del Atlas estadístico de Municipios del INE (2005).

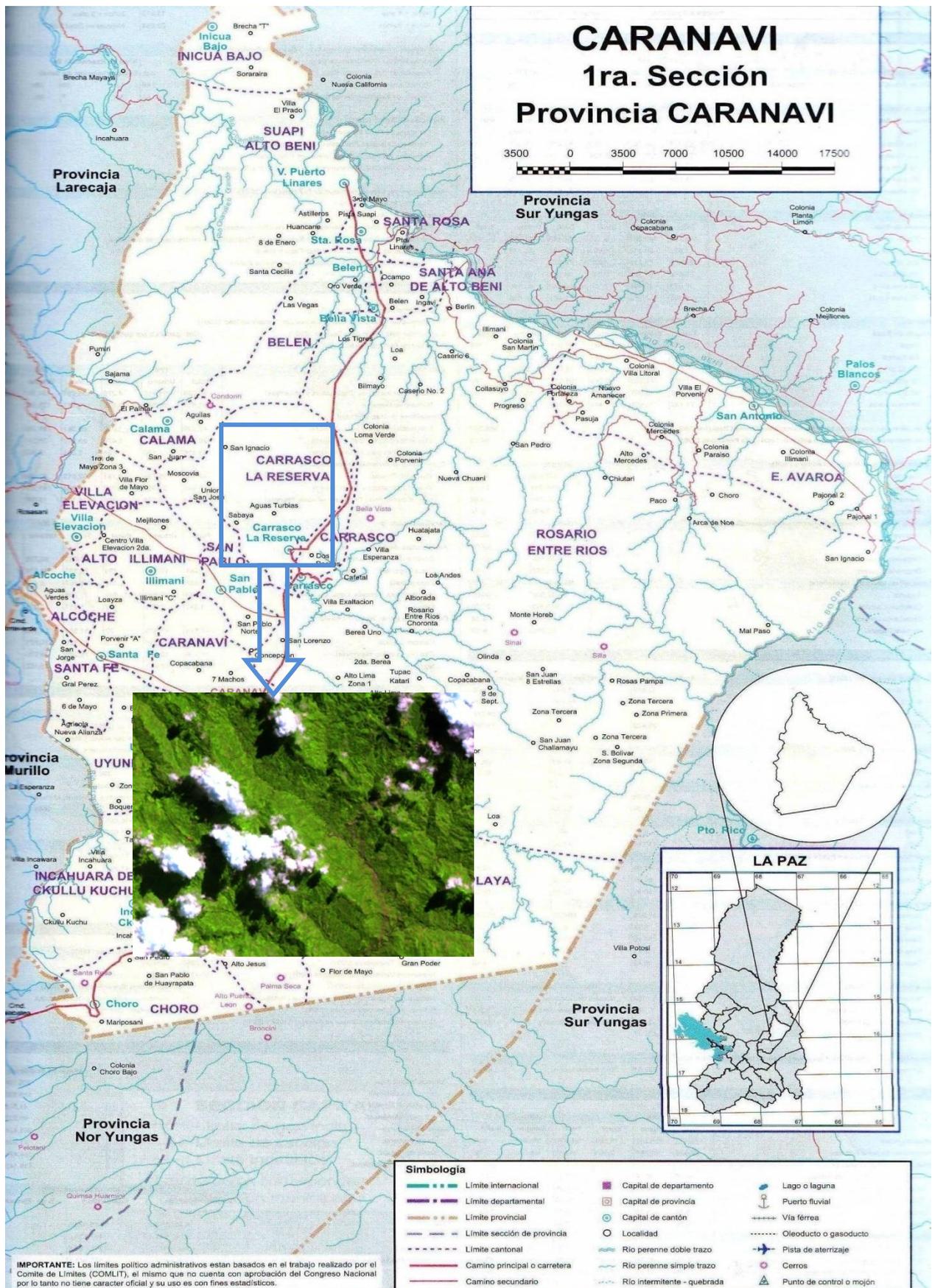


Figura 4. Mapa de ubicación (Quispe 2008).

3.2 Características biofísicas

3.2.1 Clima

En términos generales, la zona es catalogada como una zona subtropical, con una precipitación promedio anual de 1345 mm, y una temperatura media anual de 25 °C, la zona presenta claramente diferenciada dos épocas: la época lluviosa y la época seca; las precipitaciones registradas con más intensidad se encuentran entre los meses de enero y febrero (Quispe 2008).

3.2.2 Suelos

La región presenta suelos poco profundos a profundos, con texturas medianas a finas, presencia de nódulos de óxido de fierro y manganeso y contactos petroféricos en algunos sectores (Quispe 2008).

Se llevaron muestras de suelo al Laboratorio de Calidad Ambiental, dependiente del Instituto de Ecología de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales (UMSA), la cual se detalla en el anexo 2; conforme estos análisis el suelo presenta una textura fina (franco arcilloso y arcilloso), pH ligeramente ácido (6.4), bajo contenido de calcáreo total, sin problemas de sales, nivel bajo de Capacidad de Intercambio Catiónico (9 meq por 100 g de suelo), bajo contenido de fósforo disponible y contenido medio de materia orgánica y nitrógeno total.

3.2.3 Recursos hídricos

El área donde se realizó el presente trabajo de investigación, se encuentra en la cuenca del río Amazonas y comprende la subcuenca del río Beni que presenta un amplio rango de variaciones de caudales y transporta una gran cantidad de

sedimentos, estos sedimentos provienen de la Cordillera Oriental y el Subandino; tal cantidad de sedimentos se depositan en las llanuras (Quispe 2008).

3.3 Características socioeconómicas

Conforme Quispe (2008), la Colonia Siempre Unidos, presenta las siguientes características socioeconómicas:

Siempre Unidos y Kollasuyo en el Cantón Carrasco La Reserva cuentan con aproximadamente una población de 300 familias, cada familia consta en promedio de 6 miembros, sumando un total aproximado de 1800 habitantes.

Se tiene un valor aproximado de 10 hectáreas de tierra por familia, la mayoría con títulos de propiedad otorgados por el Instituto Nacional de Colonización y últimamente por el INRA. La mayoría de estas tierras se encuentran moderada o gravemente degradadas, disminuyendo el rendimiento de los cultivos y por ende los ingresos económicos de las familias de colonizadores.

La mayor parte de los colonizadores obtienen sus ingresos económicos del cultivo de café y producción de frutas tropicales principalmente cítricos, mango, banano y de la coca, el cultivo de esta última especie se vino extendiendo durante los últimos años debido a que son más rústicos y menos exigentes con relación a la calidad del suelo, además de que se obtienen mejores ingresos que cualquier otro cultivo de la zona. Pero su cultivo, degrada los suelos de la zona paulatinamente.

3.4 Materiales

3.4.1 Material vegetal

Para la evaluación del crecimiento y secuestro de carbono en tres especies forestales, se utilizaron las siguientes especies:

- Cedro (*Cedrela fissilis*)
- Mara (*Swietenia macrophylla*)
- Roble (*Amburana cearensis*)

Estas especies están incluidas dentro del grupo comercial de especies valiosas, por las características de la madera que pueden observarse en la sección de características de la madera y usos.

3.4.2 Material de campo

- Cuaderno de campo
- Machete
- Pico
- Pala
- Azadón
- Cinta métrica (30 m)
- Vernier calliper (0 – 150 mm).
- Marbetes
- Cámara fotográfica
- Bolsas

3.4.3 Material de laboratorio

- Estufa o mufla eléctrica
- Balanza analítica
- Bandejas de aluminio
- Papel periódico

3.4.4 Material de gabinete

- Computadora con todos sus accesorios
- Paquete estadístico SAS y SPSS versión 11.5
- Scanner
- Papelería en general

3.5 Metodología

3.5.1 Antecedentes de las plantaciones

Con el aumento de los gases de efecto invernadero, especialmente del dióxido de carbono, se están ejecutando numerosos proyectos de forestación y reforestación en diversos puntos del país. Es en tal sentido, que en el año 2005, se estableció un vivero forestal en la Colonia Siempre Unidos, con el objetivo de forestar el área con especies valiosas: Cedro, Mara y Roble. Y así de esta manera incrementar el valor de los predios de los colonizadores, además de tener otros beneficios medioambientales como el secuestro de carbono de la atmósfera.

El año 2006 se repartieron los plantines de las tres especies forestales valiosas a cada familia de colonizadores, para que ellos los planten en sus predios.

3.5.2 Fase de Campo

Los colonizadores de la Colonia Siempre Unidos, trasplantaron sus plantines forestales en sus predios, la elección del lugar estuvo determinada por la disponibilidad de lugar y la aleatoriedad.

A finales del año 2008, se realizó una identificación de las tres especies forestales, en los predios de la Colonia. Se seleccionaron al azar 8 individuos por especie. Los individuos seleccionados al azar, se identificaron con marbetes para determinar el crecimiento y captura de dióxido de carbono hasta finales del año 2009.

Se realizó tres mediciones de la altura y del diámetro a la altura del pecho en las tres especies forestales. La primera medición se realizó en noviembre de 2008, la segunda en junio de 2009 y la última medición fue llevada a cabo en noviembre de 2009.

La altura total se midió desde la base de la planta hasta la punta de la misma con una wincha de 30 m de longitud; para el registro del diámetro a la altura del pecho (DAP) se utilizó un Vernier calliper (0 – 150 mm), se midió el DAP a una altura estándar de 1,3 m.

En la última medición (noviembre de 2009), se tumbó 3 individuos por especie, y se separó en sus órganos principales: tallo, rama, hojas y raíz. Para determinar la biomasa aérea total y la biomasa de la raíz bruta.

3.5.3 Fase de laboratorio

Los órganos de las tres especies forestales jóvenes fueron llevados en bolsas transparentes al laboratorio de la Facultad de Agronomía (UMSA) para su pesado en fresco. Después se sometieron a secado en la estufa a 80°C hasta peso constante, para ser pesados nuevamente y así determinar la biomasa aérea y de raíz de las tres especies forestales.

3.5.4 Análisis de la información

3.5.4.1 Cálculo de la biomasa

La biomasa se dividió en dos grupos: biomasa de la parte aérea y biomasa de la raíz. La biomasa de la parte aérea comprendió la biomasa de las hojas, tallo y ramas. Para su cálculo se pesó los órganos secos a la estufa de las especies forestales. Los datos obtenidos fueron analizados mediante el análisis de mínimos cuadrados conforme al modelo matemático más ampliamente usado para mediciones de biomasa en plantaciones forestales, el cual toma la siguiente función potencial:

$$M = aD^b$$

Donde a y b son los parámetros, M es la biomasa total y d es el diámetro a la altura del pecho (Zianis y Mencuccini, 2004, Návar, 2009).

Con la anterior ecuación se obtuvo los parámetros para el cálculo de la biomasa de la parte aérea, raíz y una ecuación total (raíz y parte aérea) para cada una de las especies y combinando las tres especies forestales jóvenes.

3.5.4.2 Cálculo del carbono secuestrado

Una vez obtenida la biomasa total para cada una de las especies forestales, se calculó la cantidad de carbono fijado o secuestrado por especie aplicando la tasa de 0,5 conforme las sugerencias de la guía de la UNFCCC y al contenido químico de carbono de la madera citado en la revisión bibliográfica (Takimoto *et al.*, 2008; Haygreen y Bowyer, 1996).

3.5.4.3 Cálculo del carbono en el suelo

Se sacaron muestras de suelo donde fueron implantadas las especies forestales, a una profundidad de 30 cm. Las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio de Calidad Ambiental, dependiente del Instituto de Ecología de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales (UMSA) para su respectivo análisis en el contenido de carbono orgánico. Se calculó la cantidad de carbono acumulado en el suelo por hectárea mediante la siguiente fórmula:

$$CS = CC \times DA \times P \times S$$

Donde:

CS = carbono en el suelo (TM/ha)

CC = contenido de carbono (%)

DA = densidad aparente (TM/m³)

P = profundidad de muestreo (m)

S = Superficie de estudio (m²)

3.5.4.4 Análisis estadístico

Al medir una variable sobre la misma unidad experimental en distintos momentos de tiempo, es decir en distintas fechas, se llegan a obtener mediciones seriales que se caracterizan por estar correlacionadas y acarrear un mismo efecto de unidad experimental (Mostacedo, 2010).

Al realizar el presente trabajo de investigación tres mediciones consecutivas en las mismas especies forestales se trabajo con un análisis de varianza de medidas repetidas; las especies y fechas con las que se trabajo son mencionadas a continuación:

Factor tratamiento:

T1: Cedro (*Cedrela fissilis*)

T2: Mara (*Swietenya macrophylla*)

T3: Roble (*Amburana cearensis*)

Épocas de medición:

E1: Noviembre 2008

E2: Junio 2009

E3: Noviembre 2009

Las variables dependientes que se midieron fueron las siguientes:

- Altura
- Diámetro a la altura del pecho
- Biomasa
- Carbono secuestrado

Para la comparación de todas las medias entre sí, se utilizó las pruebas de significancia conocidos como Prueba de Comparación Múltiple de medias de Tukey y la Prueba de Rango Múltiple de Duncan a un nivel de confianza del 95% (Mostacedo, 2010).

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Altura

4.1.1 Estadística descriptiva

Realizando un análisis descriptivo de los datos según las especies y las fechas de medición, se presenta a continuación en la cuadro 3, los principales descriptores de los datos.

Cuadro 4. Parámetros descriptivos de la altura (m) de las especies forestales en las tres mediciones realizadas.

	Cedro			Mara			Roble		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Media	3,71	3,99	4,31	4,79	5,04	5,34	4,84	5,05	5,29
Varianza	0,07	0,05	0,04	0,27	0,28	0,28	0,52	0,51	0,54
D.E.	0,29	0,24	0,23	0,56	0,57	0,56	0,77	0,76	0,78
C.V.	7,88	6,00	5,25	11,67	11,32	10,51	15,90	15,12	14,85
Mínimo	3,06	3,42	3,83	4,00	4,21	4,55	4,03	4,25	4,45
Máximo	3,92	4,14	4,59	5,46	5,71	5,99	5,93	6,17	6,46

La media en altura de las tres especies va en incremento desde la medición 1 hasta la medición 3, que indica un crecimiento continuo en altura en un año de medición. Conforme los resultados de la varianza y la desviación estándar < 1 , nos indica que los datos están concentrados respecto a la media, es decir no existe mucha variabilidad de los datos. Esto es corroborado por el coeficiente de variación (CV), que es menor al 16%. La altura mínima corresponde a la primera

medición realizada en el cedro, que alcanzó 3.06 m; por el contrario la altura máxima alcanzada se reportó en la última medición en el roble con una altura de 6,46 m.

4.1.2 Incremento Medio Anual (IMA) en altura

El incremento medio anual o tasa de crecimiento es un indicador del cambio en altura por unidad de tiempo. Generalmente se lo expresa en $m \text{ año}^{-1}$. Conforme a los descriptivos del cuadro 3, la media es representativo de las especies en estudio, por lo cual, trabajando con las medias se obtuvo los IMAs para las especies en estudio (cuadro 4).

Cuadro 5. Incrementos Medios Anuales en altura ($m \text{ año}^{-1}$) para las tres especies forestales.

Especie	IMA (0 – 3 años)	IMA del 4º año
Cedro	1,24	0,60
Mara	1,60	0,55
Roble	1,61	0,45

Conforme a los resultados del IMA, las tres especies forestales presentan un crecimiento superior en altura (m) en los 3 primeros años, este crecimiento se reduce al 4 año. Hasta los primeros 3 años existe un IMA superior a la unidad para las tres especies en estudio e inferior a la unidad para el cuarto año de vida. Estos resultados son corroborados con los estudios de Sandoval (2008), quién encontró IMA alto para plantaciones de teca de 1 a 5 años igual a $2,25 m \text{ año}^{-1}$, este valor se redujo a $1,56 m \text{ año}^{-1}$ para plantaciones de teca de 5 a 20 años, indicando que el IMA en altura decrece con la edad.

En plantaciones de mara de 5 – 10 años de edad se reportó un IMA de 1,00; el IMA para la mara hallado en el presente estudio (1,32 para 4 años de edad) es superior al reportado en plantaciones forestales (1,00), esto probablemente se debe a la edad de las especies forestales (4 años de edad) (Sandoval, 2008).

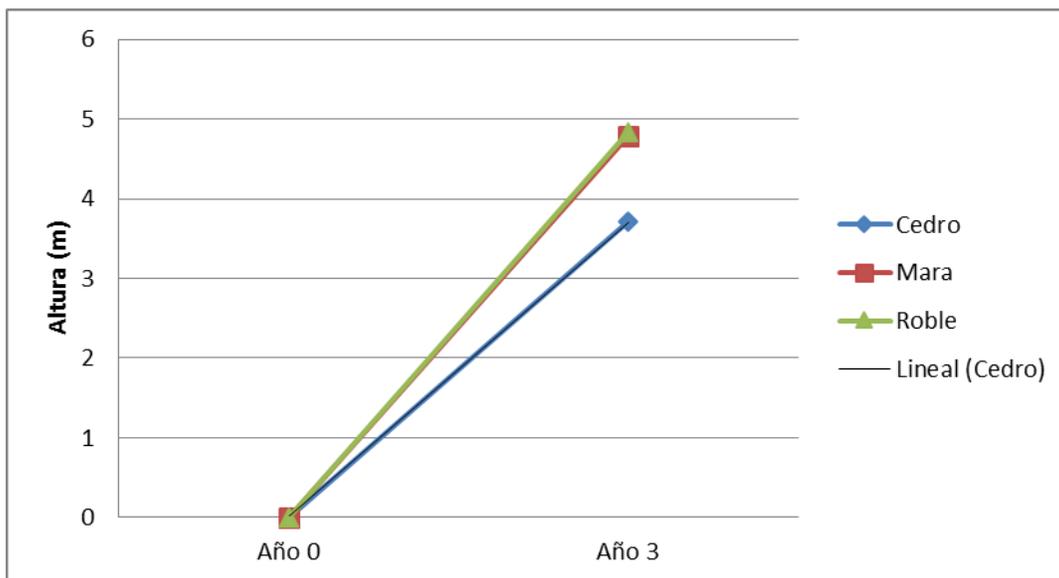


Figura 5. Promedios acumulado del incremento de altura (m) de las especies investigadas a los 3 años de edad.

Claramente, la recta de crecimiento indica que el cedro obtuvo un crecimiento menor a las otras dos especies a los 3 años de edad, alcanzando una altura de 3,71 m, por el contrario la mara y roble llegaron a reportar 4,84 m y 4,79 m respectivamente.

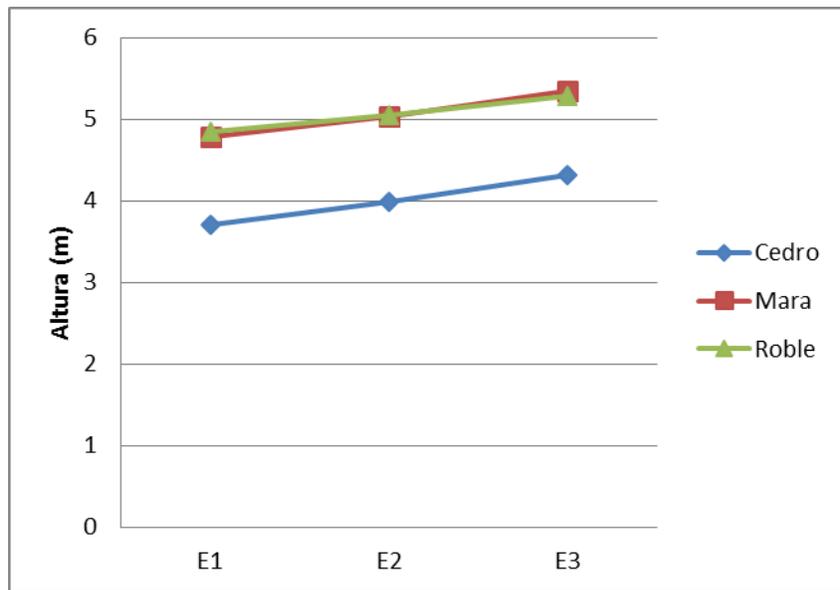


Figura 6. Promedios acumulado del incremento en altura (m) de las especies investigadas al cuarto año de edad.

En el cuarto año de edad, en las tres mediciones realizadas, se observa que la mara y el roble presentan crecimiento en altura muy similares. También es notorio que la pendiente se reduce en el cuarto año, esto significa un decremento en la tasa de crecimiento en altura (IMA).

4.1.3 Análisis de varianza de medidas repetidas

Realizando un análisis conjunto de las especies y de las tres mediciones en altura, en la siguiente tabla (cuadro 5) se muestra la significancia de las variables dependientes en estudio.

Cuadro 6. Análisis de varianza de medidas repetidas para la altura.

Fuente	SC	GL	CM	F	P
INTRASUJETOS					
Tiempo	3,39	1,00	3,39	143,12	< 0,01
Tiempo*Especie	0,05	2,00	0,02	0,96	0,40
Error (Tiempo)	0,50	21,00	0,02		
INTERSUJETOS					
Especie	17,81	2,00	8,90	9,32	< 0,01
Error	20,05	21,00	0,96		

Las fechas de mediciones y las especies resultaron altamente significativos ($p < 0,01$), lo cual indica que existen diferencias en altura debido a la especie y el tiempo de medición. La interacción del tiempo con la especie resultó no significativo ($p > 0,05$), que indica que no existe una interacción entre ambas variables.

Como la prueba resultó altamente significativo ($p < 0,01$) en la figura 7 se detalla la prueba de rango múltiple de Duncan a un 95% de nivel de confianza para la altura.

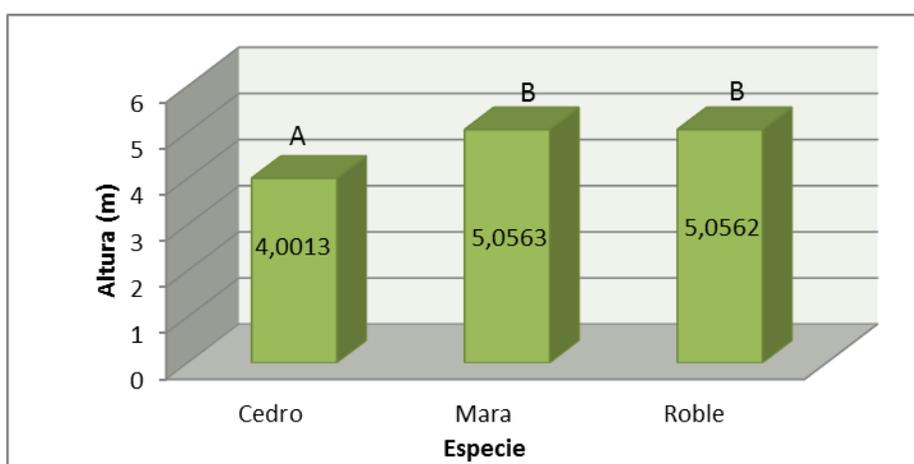


Figura 7. Prueba Duncan para la altura (m) de las tres especies forestales.

En general, se formó dos grupos estadísticamente diferentes entre sí. El primer grupo conformado por el cedro llegó a obtener el menor promedio de crecimiento en altura igual a 4,0013 m. El segundo grupo conformado por las especies mara y cedro obtuvieron los más altos promedios en altura con promedios de 5,0563 m y 5,0562 m respectivamente, valores que son estadísticamente similares.

En plantaciones forestales la mara, el cedro y el roble presentan crecimientos en altura muy variable, siendo la edad y la especie dos de los principales factores que determinan el incremento medio anual. En la ciudad de Para, Brasil, los plantines de mara alcanzaron alturas de 34 cm y 27,14 cm después de 8 y 4 meses de transplante respectivamente y *Vochysia guatemalensis* alcanzó un incremento medio anual de 1,87 m siendo una de las más altas para especies nativas; en Quintana Roo (México) individuos de mara de 4,8 años de edad alcanzaron promedios en altura de 352 cm en lugares con claras y quema (Grogan *et al.*, 2003; Redondo-Brenes y Montagnini, 2006; Gomes da Silva *et al.*, 2007; Snook y Negreros – Castillo, 2004).

4.2 Diámetro a la altura del pecho (DAP)

4.2.1 Estadística descriptiva

Este es uno de los datos más importantes que se recolecta en las especies forestales, el cuadro 6 presenta los principales estadísticos de descripción de esta variable dependiente.

Cuadro 7. Estadísticos simples del DAP (cm) en las especies forestales en las tres mediciones realizadas.

	Cedro			Mara			Roble		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Media	3,58	4,07	4,63	3,87	4,08	4,33	3,61	3,87	4,17
Varianza	0,37	0,47	0,61	0,26	0,30	0,35	0,29	0,33	0,41
D.E.	0,65	0,73	0,84	0,55	0,58	0,63	0,58	0,62	0,69
C.V.	18,17	18,01	18,10	14,13	14,25	14,56	15,99	15,93	16,48
Mínimo	2,88	3,31	3,80	2,89	3,06	3,25	2,78	2,83	2,90
Máximo	4,90	5,58	6,35	4,61	4,91	5,25	4,50	4,71	4,95

El promedio en diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm) de las tres especies forestales va en incremento desde la primera medición hasta la última medición, lo cual indica un crecimiento continuo en diámetro en un año de medición. Al igual que los datos de la variable altura, la varianza y la desviación estándar reportaron valores < 1 ; esto nos indica que los datos están concentrados respecto a la media, es decir la mayoría de los datos se encuentran alrededor del promedio. El coeficiente de variación (C.V.) es menor al 19%. El valor mínimo del DAP (cm) corresponde a la primera medición realizada en el roble, que alcanzó 2,78 cm; por el contrario el DAP máximo alcanzado se reportó en la última medición en el cedro con un valor promedio igual a 6,35 cm.

4.2.2 Incremento Medio Anual (IMA)

La tasa de incremento diamétrico, incremento corriente anual o tasa de crecimiento es un indicador del cambio en diámetro a una altura de 1,3 m por unidad de tiempo. Este valor es expresado en cm año^{-1} . Conforme a los

descriptivos del cuadro 3, la media es representativo de las especies en estudio, por lo cual, trabajando con las medias se obtuvo los IMAs para las especies en estudio (cuadro 7).

Cuadro 8. Incrementos Medios Anuales en DAP (cm año⁻¹) para las tres especies forestales.

Especie	IMA (0 – 3 años)	IMA del 4^o año
Cedro	1,19	1,05
Mara	1,29	0,46
Roble	1,20	0,56

El incremento en diámetro a la altura del pecho (1,3 m) es mayor a la unidad en los tres primeros años de las especies forestales, este valor se reduce a más de la mitad en la mara y el roble en el cuarto año; a excepción del cedro, que sufre un ligero decremento de 1,19 cm año⁻¹ a 1,05 cm año⁻¹. Esta reducción del IMA en diámetro también es reportado en la investigación realizada por Sandoval (2008), quien menciona que el IMA en DAP reduce con la edad de las especies.

Para plantaciones forestales de mara de 5 – 10 años se encontró un IMA en diámetro igual a 1,48 cm año⁻¹, este crecimiento se redujo a un IMA de 1,07 cm año⁻¹ para plantaciones de mara establecidas hace más de 10 años. Se obtuvo los IMAs más elevados en plantaciones de Cerebó menores a 5 años (3,24 cm año⁻¹) valor que se redujo a 2,76 cm año⁻¹ para plantaciones de 5 a 10 años de establecimiento (Sandoval, 2008).

En el trabajo realizado por Guzmán y Villarroel (1994) citado por Alvarez (2005) el IMA en diámetro decreció continuamente de 0,94 cm año⁻¹, 0,98 cm año⁻¹, 0,87 cm año⁻¹ y 0,80 cm año⁻¹ para 7, 12, 22 y 30 años de edad en la especie *Eucalyptus globulus*.

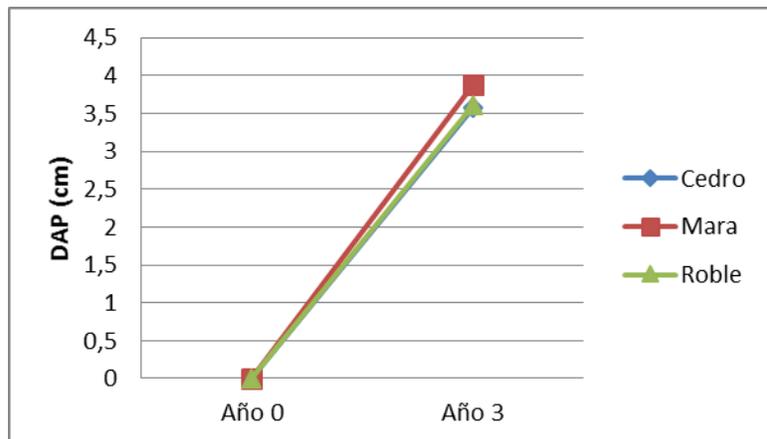


Figura 8. Promedios acumulados del incremento en DAP (cm) de las especies evaluadas a los 3 años de edad.

El cedro, la mara y el roble reportaron crecimientos promedio en diámetro de 3,58 cm, 3,87 cm y 3,61 cm respectivamente a los tres años de edad. No existe una marcada diferencia entre los tres valores.

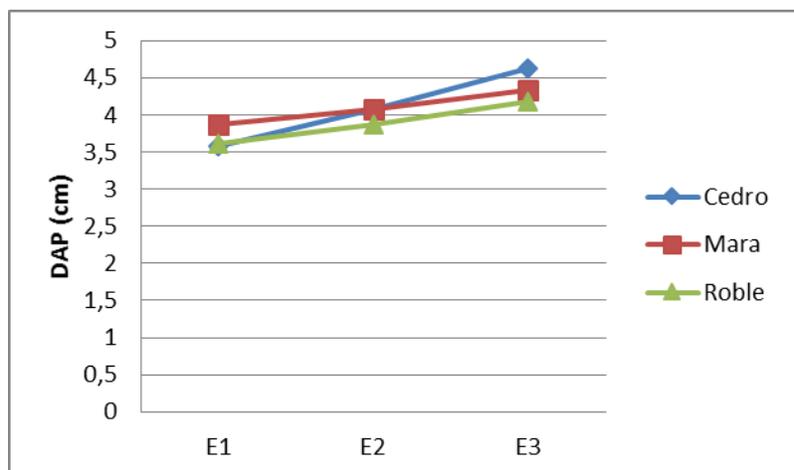


Figura 9. Promedios acumulados del incremento en DAP (cm) de las especies evaluadas al cuarto año de edad.

La figura indica un crecimiento inferior en el diámetro del cedro al tercer año de edad (3,58 cm), pero esta especie al cuarto año supera a las otras dos especies,

llegando a obtener un promedio de 4,63 cm. La especie que reportó el menor valor en DAP al cuarto año de edad fue el roble con una media de 4,17 cm.

4.2.3 Análisis de varianza de medidas repetidas

Por tratarse de medidas repetidas en el tiempo para la variable DAP, se tiene en el cuadro 8 el análisis de varianza respectivo.

Cuadro 9. Análisis de varianza de medidas repetidas para el DAP.

Fuente	SC	GL	CM	F	P
INTRASUJETOS					
Tiempo	5,72	1,00	5,72	198,59	< 0,01
Tiempo*Especie	0,82	2,00	0,41	14,27	< 0,01
Error (Tiempo)	0,61	21,00	0,03		
INTERSUJETOS					
Especie	0,73	2,00	0,36	0,29	0,75
Error	26,56	21,00	1,27		

Según el cuadro del ANVA, el tiempo resultó altamente significativo ($p < 0,01$), que indica que existen diferencias en el DAP según el tiempo de medición. La interacción del tiempo con la especie también resultó altamente significativo ($p < 0,01$), lo que indica la existencia de una interacción del tiempo con la especie. La prueba resultó no significativa para las especies, que indica que las especies reportaron promedios de DAP similares ($p > 0,05$).

Para obtener una clara comparación de los promedios de DAP en las especies, la figura 10 detalla la prueba de rango múltiple de Duncan a un 95% de nivel de confianza para el DAP.

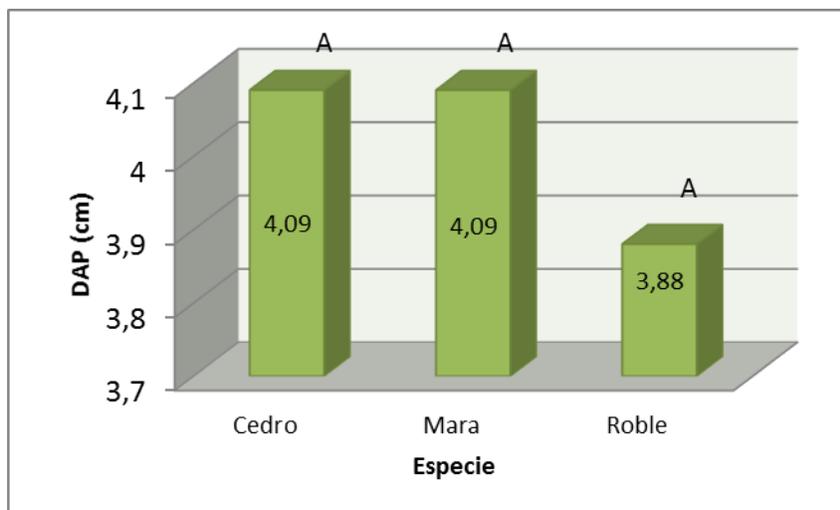


Figura 10. Prueba Duncan para el diámetro a la altura del pecho (cm) de las tres especies forestales.

El cedro, la mara y roble presentaron promedios generales del diámetro a la altura del pecho (cm) estadísticamente similares, siendo el roble el que reportó el menor DAP igual a 3,88 cm al cuarto año de edad. Obteniendo la mara y el cedro promedios iguales en esta variable.

Conforme a los resultados del ANVA, los diámetros reportaron valores similares ($p > 0,05$), es decir, las tres especies forestales no tuvieron diferencias en el diámetro a la altura del pecho en las tres mediciones. Sin embargo, el cedro tuvo un mejor comportamiento en cuanto a esta variable, llegando a obtener un incremento diamétrico (cm año^{-1}) de 1,158; la mara y roble obtuvieron 1,082 y 1,042 cm año^{-1} respectivamente (hasta los 4 años de edad).

El crecimiento en diámetro es muy variable, siendo los principales factores que la determinan la especie, la clase diametral y las condiciones ambientales; en el bosque amazónico del Brasil se encontró un incremento medio anual de 272 árboles de $1,64 \pm 0,21$ mm, valor que se encuentra muy por debajo al encontrado en el presente estudio, esto se debe, a que las mediciones se realizaron en

árboles con DAP mayores a 10 cm; en otras condiciones este valor se incrementa a 5 – 18 mm año⁻¹ en Costa Rica y 7,1 – 9,2 mm año⁻¹ en Barro Colorado (Panamá) (Pereira da Silva, 2002).

El crecimiento en DAP es fuertemente afectado por el año de medición, índice de cubrición por plantas trepadoras y epífitas, producción de fruta, índice de iluminación de la corona y cantidad de lluvias; de éstos, el más importante elemento que determina el índice de crecimiento en diámetro es la medición del DAP en el año anterior (Grogan y Landis, 2009).

En las plantaciones forestales del trópico boliviano se reportó un incremento medio anual en diámetro (cm año⁻¹) de 3,24 y 2,54 para *Schizolobium parahyba* y *Tectona Grandis* respectivamente para árboles menores a 5 años. En el caso de la mara se obtuvo un promedio de 1,48 para individuos de 5 – 10 años de edad (Sandoval 2008). El último valor es superior al encontrado en el presente estudio, lo cual puede deberse al manejo forestal, debido a que las especies del presente estudio no están sometidas a ningún tipo de manejo forestal como las plantaciones forestales del trópico boliviano. Este valor es aún mucho menor en bosque seco y sub – húmedo de las tierras bajas de Bolivia (Departamento de Santa Cruz) obteniéndose valores de 0,59; 0,55; 0,54 y 0,95 cm año⁻¹ para un tratamiento control, un manejo normal, un manejo mejorado y un manejo intensivo del bosque Sub – húmedo La Chonta (Mostacedo *et al.*, 2008).

4.3 Biomasa

4.3.1 Cálculo de la biomasa

Las principales variables utilizadas a nivel mundial para el cálculo de la biomasa son el diámetro a la altura del pecho y la altura de la especie forestal en estudio. De estas dos variables, la más generalizada a nivel mundial para el cálculo de la biomasa de especies forestales es el diámetro a la altura del pecho, existiendo numerosas funciones en términos de esta variable. El DAP (DBH) según las condiciones de cada lugar varía, siendo la moda a una altura de 1.30 m (62% de los valores reportados) (Brokaw y Thompson, 2000).

Los valores de los coeficientes (“a” y “b”) varían con la especie, edad del rodal, calidad del sitio, clima, etc.; siendo el error estándar bajo en clases diamétricas menores como en el presente estudio (Zianis y Mencuccini, 2004). Es importante mencionar que los valores hallados en el presente estudio fueron realizados a partir de 9 muestras de las 3 especies forestales, por lo cual, los valores encontrados son meramente referenciales para las tres especies forestales jóvenes (aproximadamente de 4 años de edad).

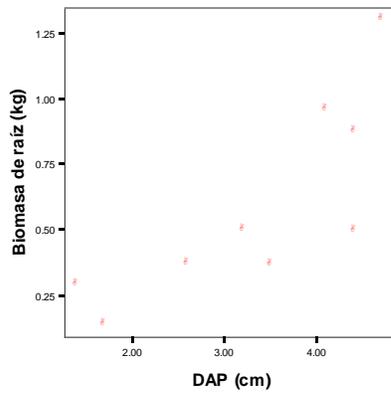
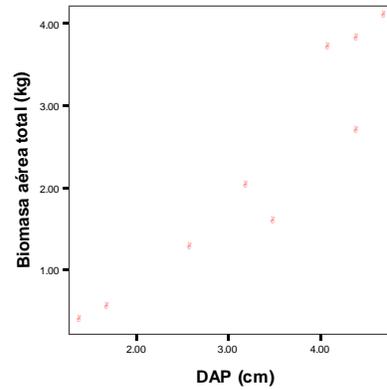
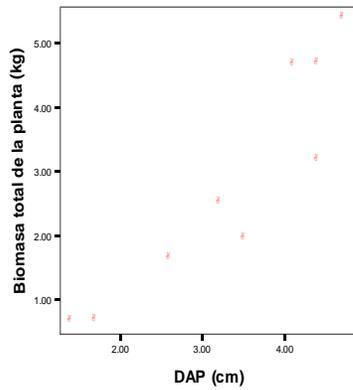
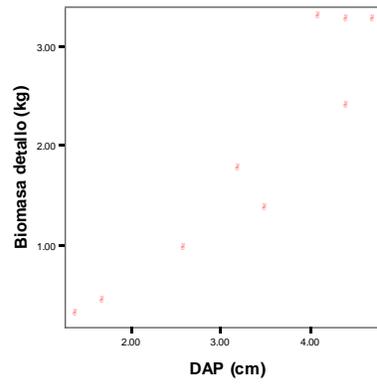
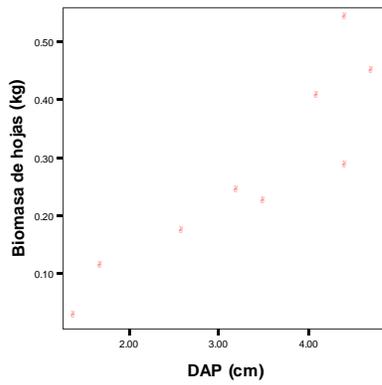


Figura 11. Diagrama de dispersión de la relación de DAP (cm) con la biomasa (kg) de los órganos de las tres especies forestales combinadas

El DAP (cm) presenta una relación con los componentes de las plantas forestales, esta relación presenta una forma potencial ($M = aD^b$) (figura 11) como son indicados y citados en los trabajos de (Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997). Por la relación potencial, se trabajó con los diferentes órganos de las especies forestales mediante los mínimos cuadrados. Con los datos de biomasa de las tres especies forestales, se obtuvo una regresión general para obtener una ecuación para el tallo, raíz, hojas, biomasa aérea total y biomasa total (cuadro 9). Conforme Nelson *et al.*, (1999) los indicadores de calidad para cada modelo son: R^2 de la regresión, Error estándar, significancia del modelo, etc.

Cuadro 10. Ecuaciones de regresión combinada para predecir la biomasa aérea y subterránea (kg de materia seca).

Órgano	A	B	R ²	p – value
Biomasa de tallo	- 1,91(0,18)	2,00(0,15)	0,96	< 0,0001
Biomasa de hoja	- 3,83(0,35)	1,99(0,29)	0,87	0,0002
Biomasa aérea total (tallo + hojas)	-1,65(0,18)	1,93(0,15)	0,96	< 0,0001
Biomasa de raíz bruta	-2,21(0,40)	1,31(0,34)	0,69	0,0059
Biomasa total (tallo+hoja+raíz)	-1,18(0,21)	1,75(0,18)	0,93	< 0,0001

Los valores entre paréntesis son los errores estándares de la estimación de los coeficientes o parámetros de la regresión. El p – value corresponde a la significancia del modelo.

Los valores de los coeficientes de regresión para las especies y para los órganos de las especies forestales jóvenes se encuentran en el rango de los reportados en muchas ecuaciones de regresión; Brown para bosques tropicales húmedos (1997) encontró la ecuación: TAGB = exp (-2,34 + 2,53 ln (DAP)), para bosques tropicales húmedos la ecuación pantrópica es: TAGB = $\rho \exp(-1,499 + 2,148 \ln(DAP) + 0,207 (\ln (DAP))^2 - 0,028 (\ln(DAP))^3)$, para las especies comerciales $\ln (TAGB) = -1,498 +$

2,234 ln (DAP), para bosques brasileños del amazonas es $\ln Y = - 2,17 + 1,02 \ln (DAP)^2 + 0.39 \ln (H)$, para árboles con DAP > 10 cm la ecuación es $\ln Y = 0,991 \ln ((DAP)^2 * H * \rho) - 2,968$, etc. En este trabajo, se utilizó solamente el DAP como única variable determinante de la biomasa, debido a que la altura total de la especie forestal dio una ligera variación en la predicción de la biomasa y la estimación de la biomasa es afectada por la densidad de la madera para árboles grandes (Basuki *et al.*, 2009; Rudbeck, 2006; Ter – Mikaelian y Korzukhin , 1997).

4.3.2 Análisis estadístico descriptivo

Aplicando los parámetros de la ecuación de regresión para predecir la biomasa total (tallo + hoja + raíz), donde $a = -1,18$ y $b = 1,75$ en la expresión: $M = a D^b$ se tiene a continuación un análisis descriptivo de los datos de biomasa total expresados en kg de materia seca.

Cuadro 11. Parámetros descriptivos de la biomasa total (kg) de las especies forestales en las tres mediciones realizadas.

	Cedro			Mara			Roble		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Media	2,911	3,652	4,576	3,323	3,645	4,034	2,941	3,324	3,796
Varianza	0,823	1,283	2,037	0,550	0,683	0,885	0,576	0,700	0,947
D.E.	0,970	1,211	1,526	0,793	0,884	1,005	0,811	0,895	1,040
C.V.	33,322	33,167	33,348	23,851	24,243	24,923	27,586	26,919	27,400
Mínimo	1,956	2,496	3,178	1,968	2,175	2,417	1,839	1,897	1,980
Máximo	4,959	6,225	7,805	4,457	4,977	5,595	4,272	4,627	5,048

El promedio de biomasa total expresado en kg de materia seca de las tres especies va en incremento desde la medición 1 hasta la medición 3, lo cual es un indicador del crecimiento en biomasa en un año de medición. Los valores de la varianza varían de

0,550 en la mara a 2,037 en el cedro. La desviación estándar reporto valores entre 0,793 en la mara a 1,526 en el cedro Esto es corroborado por el coeficiente de variación (CV), donde se reportaron los mayores coeficientes de variación en el cedro (CV < 35%) y los menores valores en la mara (CV < 25%). La mayor biomasa total acumulada corresponde a la última medición realizada en el cedro, que alcanzó 7,805 kg; la menor biomasa total acumulada alcanzada se reportó en la primera medición en el roble con un promedio de 4,272 kg.

4.3.3 Análisis de varianza de medidas repetidas

Tomando en cuenta un análisis estadístico conjunto de las tres especies y de las tres mediciones en biomasa total (kg), en el siguiente cuadro (cuadro 11) se muestra la significancia de las variables dependientes en estudio.

Cuadro 12. Análisis de varianza de medidas repetidas para la biomasa total de las tres especies forestales.

Fuente	SC	GL	CM	F	P
INTRASUJETOS					
Tiempo	13,93	1,00	13,93	122,98	< 0,01
Tiempo*Especie	2,11	2,00	1,06	9,33	< 0,01
Error (Tiempo)	2,38	21,00	0,11		
INTERSUJETOS					
Especie	1,84	2,00	0,92	0,30	0,75
Error	65,49	21,00	3,12		

El tiempo resulto altamente significativo ($p < 0,01$), lo cual indica que existieron diferencias en la biomasa acumulada en las tres fechas de medición, habiendo un crecimiento en un año de medición. La especie resulto no significativo ($p = 0,75$), que indica que no existen diferencias en la biomasa en las tres especies. La interacción

del tiempo con la especie resultó altamente significativo ($p < 0,01$), que indica que existe una interacción entre ambas variables.

Para una mejor descripción de los promedios generales de las tres especies en evaluación, se presenta en la figura 12 la respectiva prueba de rango múltiple de Duncan a un 95% de nivel de confianza.

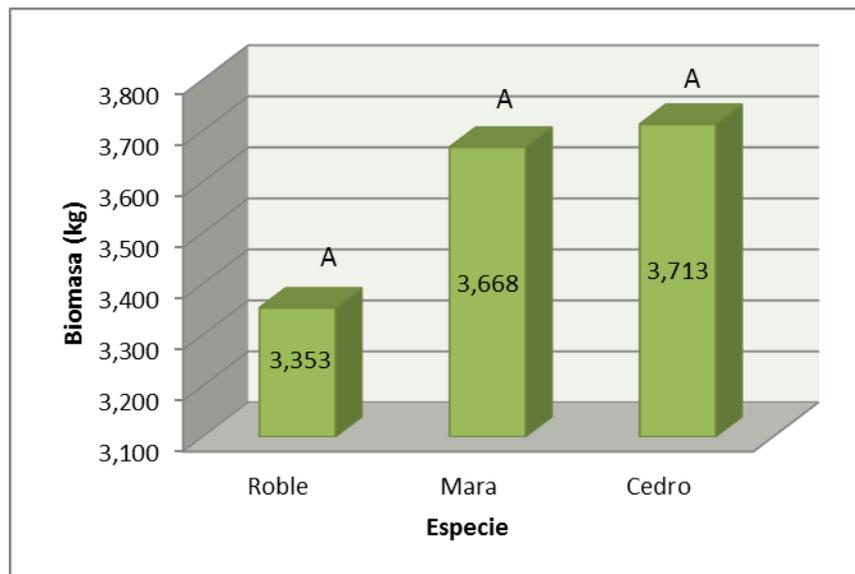


Figura 12. Prueba Duncan para la biomasa total promedio de las tres mediciones expresado en kg de materia seca de las tres especies forestales.

Conforme el análisis de varianza de datos repetidos (cuadro 11) para la especie la prueba estadística resultó no significativa; esta no significancia es claramente evidenciado en la figura 12, donde el roble, la mara y el cedro obtuvieron promedios estadísticamente similares. Sin embargo, numéricamente, el cedro obtuvo el mayor promedio de biomasa, alcanzando un promedio de 3,713 kg y la especie que reporto menor promedio general fue el roble con una media de 3,353 kg de biomasa total. La evolución de la biomasa total en un año puede observarse en la figura 13.

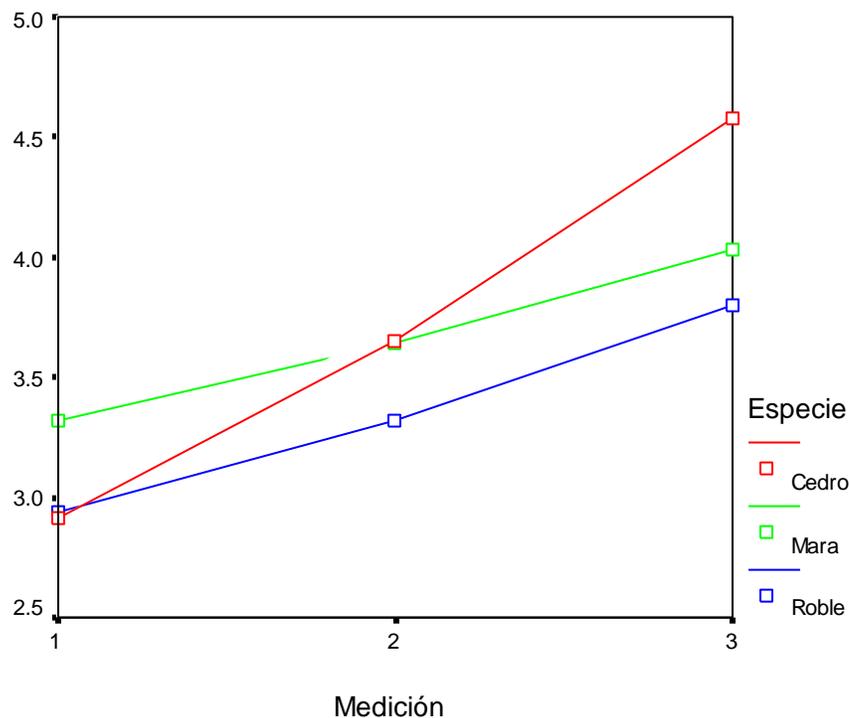


Figura 13. Promedios acumulados del incremento en biomasa total (kg) de las especies investigadas al tercer año de edad.

Como puede apreciarse, al final del tercer año la mara obtuvo el mayor promedio de biomasa, llegando a reportar 3,323 kg; y el cedro reportó el menor promedio (2,911 kg). Sin embargo, al final del cuarto año, el cedro sobrepasó al roble y a la mara llegando a reportar el mayor promedio de biomasa (4,576 kg).

Si consideramos hipotéticamente una población de 625 especies forestales por hectárea, tendremos una acumulación de biomasa aérea total promedio al cuarto año de edad (hojas y tallo) de aproximadamente 2,372 tn ha⁻¹, 2,060 tn ha⁻¹ y 1,928 tn ha⁻¹ de cedro, mara y roble respectivamente. La tasa de acumulación promedio de biomasa aérea total en las tres especies forestales fue de 0,593 tn ha⁻¹ año⁻¹; 0,515 tn ha⁻¹ año⁻¹; y 0,482 tn ha⁻¹ año⁻¹ para el cedro, mara y roble respectivamente. La acumulación de biomasa depende de varios factores, reportándose en la bibliografía especializada diferentes valores de biomasa; en bosques nativos de Hawai se obtuvo

una biomasa aérea de 108,1 tn ha⁻¹ (Litton *et al.*, 2006). Para tierras en descanso se reportaron índices de 6,6; 19,5 tn ha⁻¹ año⁻¹ para 2 y 4 años tierras en barbecho (Rudbeck, 2006). Cummings *et al.*, (2002) reportaron un total de biomasa aérea de 377 tn ha⁻¹ para bosques densos e intactos del Amazonas brasileño. La región legal de los bosques del Brasil reportó un rango de biomasa entre 155 a 352 tn ha⁻¹; en Para Brasil, se encontró una biomasa aérea para árboles con DAP > 15 cm en el rango de 222 -270 tn ha⁻¹, para tierras abandonadas se reportó una acumulación de 0,7 tn ha⁻¹ y 54 tn ha⁻¹ para parques con predominancia de especies de *Faidherbia albida*; para individuos de menos de 10 cm de DAP se halló un total de biomasa de 33, 5 tn ha⁻¹, y por el contrario los individuos grandes (DAP > 10 cm) reportaron 191,5 tn ha⁻¹. Los pequeños individuos en el bosque son importantes en la cuantificación de biomasa, ya que ellos contribuyeron con el 50,9% del total de biomasa aérea (2,5 > DAP < 12,4); *Krugiodendron ferreum* con DAP de 3,2; 3,7 y 3,9 obtuvo un total de biomasa aérea de 4,3; 2,1 y 7,9 kg de biomasa respectivamente (Keller *et al.*, 2001; Takimoto *et al.*, 2008; Cairns *et al.*, 2003; Brandeis *et al.*, 2006).

En la gran mayoría de los trabajos de investigación relacionados a la evaluación de la biomasa de bosques, no se incluye a la biomasa de las raíces, aunque esta biomasa puede tener un importante aporte a la biomasa total, influyendo en el ciclo del carbono. Es en este sentido, que en el presente trabajo, se encontró que la biomasa de la raíz representa en promedio un 21,7%; 22,7% y 23,2% de la biomasa aérea total para el cedro, mara y roble respectivamente. Este valor es aproximado al sugerido como la tasa que relaciona raíz/brote, el cual es igual a 0,25 (Takimoto *et al.*, 2008).

4.4 Secuestro de carbono

4.4.1 Cálculo de carbono total en las especies forestales

El carbono secuestrado por las tres especies forestales fue derivado de la biomasa alcanzada al cuarto año de edad, según las investigaciones realizadas por diversos autores. Elias y Potvin (2003) encontraron que el contenido de carbono varió de un valor máximo de 49,4 % en *Tectona grandis* y el menor contenido de carbono fue de 44,4 % en *Ormosia macrocalyx*.

Los anteriores resultados demuestran el valor aproximado que se usa en muchos artículos científicos a nivel mundial para poder derivar el contenido de carbono a partir de la biomasa de las especies forestales, resultando por convención el valor de 0,5; esto significa que aproximadamente el 50% de la biomasa aérea y subterránea en peso de las especies forestales está representado por el carbono.

Es en tal sentido que en el presente estudio se obtuvo el contenido de carbono secuestrado de una manera indirecta, mediante la multiplicación de la biomasa obtenida para cada especie y para cada medición por el valor de 0,5.

4.4.2 Análisis estadístico descriptivo

Se presenta a continuación un análisis descriptivo de los datos de carbono aéreo y subterráneo (hoja + tallo + raíz) secuestrado por especie y medición (cuadro 12) derivados de la biomasa aérea y subterránea de las tres especies y de las tres mediciones realizadas.

Cuadro 13. Estadísticos descriptivos de carbono total acumulado en kg de las especies forestales en las tres mediciones realizadas.

	Cedro			Mara			Roble		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Media	1,456	1,826	2,288	1,662	1,823	2,017	1,470	1,662	1,898
Varianza	0,206	0,321	0,510	0,137	0,171	0,221	0,144	0,175	0,237
D.E.	0,485	0,606	0,763	0,396	0,442	0,503	0,405	0,447	0,520
C.V.	33,311	33,170	33,354	23,848	24,230	24,923	27,576	26,918	27,391
Mínimo	0,978	1,248	1,589	0,984	1,088	1,209	0,920	0,949	0,990
Máximo	2,479	3,113	3,903	2,228	2,488	2,798	2,136	2,314	2,524

La varianza tuvo un rango de variación de 0,137 en la primera medición en la mara a 0,510 en el cedro en la tercera medición. Estos valores son corroborados en los coeficientes de variación, donde se reportó los mayores CV en el cedro con un valor máximo de 33,35 % y los menores CV en la mara con una valor mínimo de 23,85 %. El cedro reportó el menor valor promedio de carbono total en la primera medición, llegando a obtener $1,46 \pm 0,49$ kg; esta misma especie reportó el mayor valor promedio en la tercera medición igual a $2,29 \pm 0,76$ kg.

4.4.3 Análisis de varianza de medidas repetidas

Considerando las mediciones que se repiten en el tiempo en los individuos, se presenta a continuación el respectivo análisis de varianza para las tres mediciones sobre las tres especies forestales maderables en estudio (cuadro 13).

Cuadro 14. Análisis de varianza de medidas repetidas para el carbono total de las tres especies forestales.

Fuente	SC	GL	CM	F	P
INTRASUJETOS					
Tiempo	3,48	1,00	3,48	122,81	< 0,01
Tiempo*Especie	0,53	2,00	0,26	9,31	< 0,01
Error (Tiempo)	0,60	21,00	0,03		
INTERSUJETOS					
Especie	0,46	2,00	0,23	0,30	0,75
Error	16,37	21,00	0,78		

Como en la anterior variable, el tiempo resulto altamente significativo ($p < 0,01$), lo cual indica que existieron diferencias en el carbono secuestrado en las tres mediciones realizadas, esto indica que hubo secuestro de carbono en el cuarto año de medición. El factor especie resulto no significativo ($p = 0,75$), que indica que no existen diferencias significativas en la acumulación de carbono total en las tres especies forestales. La interacción del tiempo con la especie resultó altamente significativo ($p < 0,01$), que indica que existe una interacción entre las mediciones y las especies maderables.

La prueba de rango múltiple de Duncan a un 95% de nivel de confianza presentada en la figura 14, muestra el promedio de carbono secuestrado en las tres mediciones realizadas de las tres especies forestales maderables.

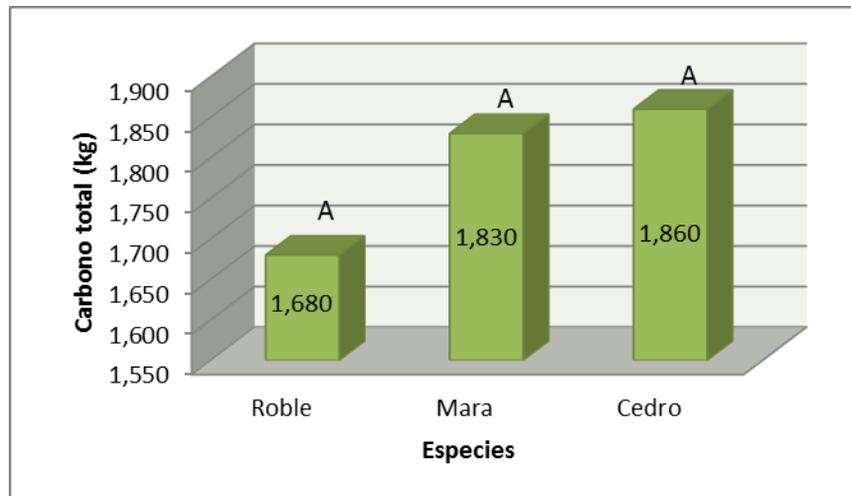


Figura 14. Prueba Duncan para el carbono total promedio de las tres mediciones expresado en kg de las tres especies forestales.

La variable especie en el análisis de varianza del cuadro 13 resultó no significativo; esta no significancia es claramente evidenciado en la figura 14, esto significa que el roble, la mara y el cedro obtuvieron promedios estadísticamente similares. Sin embargo, numéricamente el cedro obtuvo el mayor promedio de carbono total, llegando a reportar un valor de 1,860 kg, por el contrario el roble alcanzó el menor promedio general con un valor de 1,680 kg de carbono total. Para evidenciar el secuestro de carbono en el cuarto año de edad de las tres especies forestales se presenta a continuación en la figura 15 su respectiva evolución.

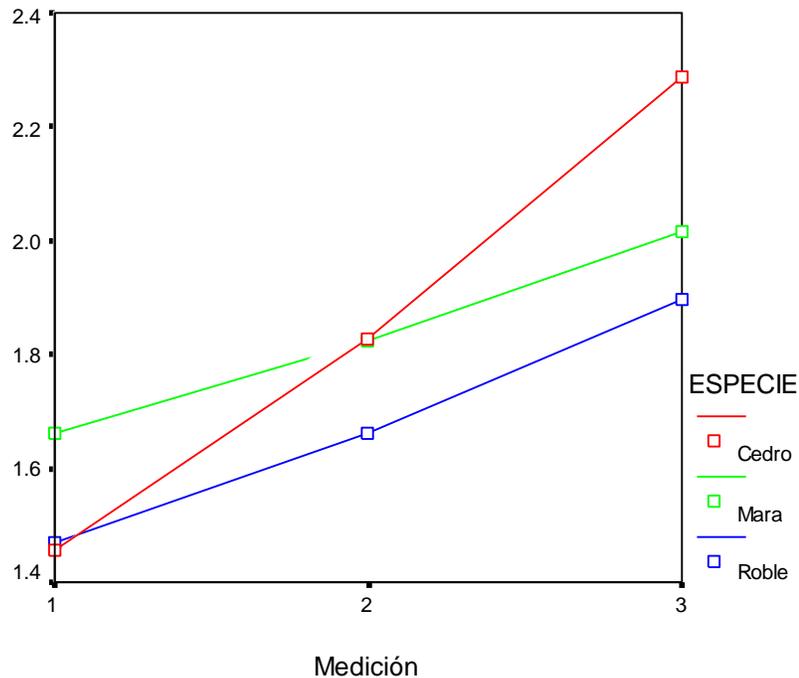


Figura 15. Promedios acumulados del incremento en carbono total en kg de las especies investigadas al tercer año de edad.

Al final del tercer año, la mara secuestro mayor cantidad de carbono total (hoja + tallo + raíz) que las otras dos especies, llegando a reportar un valor promedio por especie igual a 1,662 kg. Pero con el transcurrir de un año, es decir al final del cuarto año de edad, el cedro sobrepasó a las otras dos especies llegando a reportar un valor promedio de 2,288 kg de carbono total secuestrado por especie; por su lado al cuarto año de edad la mara y el roble reportaron una acumulación de carbono de 2,017 kg y 1,898 kg respectivamente.

En la última medición (noviembre 2009) las especies forestales jóvenes reportaron una cantidad promedio de carbono secuestrado del medio ambiente igual a 1,897; 1,648 y 1,542 kg para el cedro, mara y roble respectivamente (considerando la biomasa aérea total). Tomando hipotéticamente una población de 625 individuos por hectárea, la fijación de carbono del medio ambiente para el cedro, mara y roble sería 1,186 tn C ha⁻¹; 1,030 tn C ha⁻¹ y 0,964 tn C ha⁻¹. En plantaciones forestales en

Panamá se encontró un secuestro de carbono en la especie *Anacardium excelsum* de 0,53 tn ha⁻¹ en el segundo año y 21,4 tn ha⁻¹ en el séptimo año; para *Dipteryx panamensis* el secuestro de C incremento de 0,64 a 26,5 tn ha⁻¹ para el segundo y séptimo año (Losi *et al.*, 2003). Los valores reportados en el presente estudio están próximos a los reportados en las plantaciones forestales en Panamá. Redondo-Brenes y Montagnini (2006) indicó que las plantaciones forestales mixtas presentan mayor eficiencia en el secuestro de carbono que los monocultivos, por tanto sería recomendable realizar plantaciones forestales en el lugar combinando las especies maderables con especies leguminosas del lugar.

Tomando en cuenta la biomasa de la raíz, el C secuestrado total por especie al cuarto año de edad es de 1,430 tn ha⁻¹; 1,261 tn ha⁻¹ y 1,186 tn ha⁻¹ para el cedro, mara y roble respectivamente. En general los bosques templados tienen un valor promedio de 65 tn C ha⁻¹ y los bosques tropicales 73 tn C ha⁻¹ (considerando a las raíces). Los bosques manejados en Panamá almacenan un promedio de 335 tn C ha⁻¹, los sistemas agroforestales tradicionales una media de 145 tn C ha⁻¹ y las praderas un promedio de 46 tn C ha⁻¹ (Considerando toda la vegetación e incluyendo el C del suelo a una profundidad de 40 cm) (Návar, 2009; Kirby y Potvin, 2007).

4.5 Carbono en el suelo

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo tienen mucha influencia en la fertilidad de los suelos, por tanto, los suelos tienen una influencia importante en el crecimiento tanto de cultivos anuales como de especies forestales; es en este sentido, que en el cuadro 14 se da a conocer los resultados físico – químicos de los suelos donde se realizó el presente trabajo de investigación.

Cuadro 15. Análisis físico – químico del suelo.

Característica	Unidades	Resultado
Textura	—	Franco arcilloso
pH acuoso	—	6,3
pH en CaCl ₂	—	5,3
CE	μS cm ⁻¹	37
Cationes de cambio	cmolc kg ⁻¹	—
H	cmolc kg ⁻¹	0,054
Ca	cmolc kg ⁻¹	6,85
tn	cmolc kg ⁻¹	1,90
Na	cmolc kg ⁻¹	0,024
K	cmolc kg ⁻¹	0,15
TBI		8,924
CIC		8,978
Saturación de bases	%	99,40
Materia orgánica	%	2,40
Carbón orgánico	%	1,4
N total	%	0,175
P asimilable	ppm	2,90

Fuente: Laboratorio de Calidad Ambiental. Instituto de Ecología (2010).

El crecimiento de la biomasa y por tanto de la acumulación de carbono varia con la características del suelo, pendiente del terreno, composición florística, etc. (Rudbeck, 2006).

La capacidad de intercambio catiónico en el suelo fue de un nivel bajo al igual que la saturación de bases. En un estudio realizado en la ciudad de Belem (Brazil) en suelos altos caracterizados por presentar un nivel bajo de cationes intercambiables el incremento de cationes Ca + tn condujo a un aumento significativo en el crecimiento de altura en plantines de mara (*Swietenia macrophylla*) (Grogan *et al.*, 2003).

Realizándose un análisis de suelo en el Laboratorio de Calidad Ambiental dependiente del instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés, se determinó que el contenido de carbono promedio en el suelo, a una profundidad de 0,3 m del suelo en el sitio de estudio, reportó 1,4% con una textura de franco arcilloso a franco. Un suelo con esta textura, presenta una densidad aparente de aproximadamente $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ (Chilón, 1996).

A nivel mundial el suelo es un importante reservorio y almacén de carbono, llegando a contener los suelos del mundo dos tercios del total de carbono almacenado en vegetación (Argyro *et al.*, 2005). Esto es comprobado en los análisis de suelo realizados, donde se obtuvo un total de carbono orgánico acumulado en el suelo de aproximadamente $60,9 \text{ tn de carbono ha}^{-1}$.

El secuestro de carbono no sólo es importante en la vegetación, sino también en el suelo; esto es corroborado por una investigación realizada en África, donde se reportó un secuestro de C entre $0,7 - 54,0 \text{ tn C ha}^{-1}$ para la vegetación, pero incluyendo el C del suelo hasta los 100 cm, este secuestro se incrementó de $28,7$ a $87,3 \text{ tn C ha}^{-1}$ lo cual es un indicador de la importancia del suelo como almacén de carbono (Takimoto *et al.*, 2008). En una investigación en Etiopia el contenido de C a una profundidad de 0,6 m en una vegetación natural variaba entre $40,3 \text{ tn C ha}^{-1}$ en tierras boscosas semiáridas de acacia y 234 tn C ha^{-1} en bosques húmedos de *Podocarpus falcatus* (Lemenih e Itanna, 2004).

5. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados en la presente investigación y con los resultados encontrados mediante la medición de los árboles forestales maderables de alto valor comercial, se llega a las siguientes conclusiones:

- La evaluación del crecimiento de las especies forestales, así como la cuantificación de carbono secuestrado de la atmósfera es vital para el manejo y aprovechamiento forestal sostenible especialmente de especies de alto valor económico como la mara, cedro y roble.
- El análisis estadístico resultó altamente significativo ($p < 0,01$) para la altura de las tres especies forestales. Al cuarto año de edad se alcanzó una altura de $4,31 \pm 0,23$ m, $5,34 \pm 0,56$ m y $5,29 \pm 0,78$ m para el cedro, mara y roble respectivamente.
- La prueba estadística resultó no significativo para las especies en el diámetro a la altura del pecho ($p > 0,05$). Se reportó un DAP de $4,63 \pm 0,84$ cm, $4,33 \pm 0,63$ cm y $4,17 \pm 0,69$ cm para el cedro, mara y roble respectivamente al cuarto año de edad.
- El diámetro a la altura del pecho (DAP) presenta una relación potencial con la biomasa de las especies forestales, esa función potencial es de la forma: $M = a D^b$. Linealizando la función potencial mediante los mínimos cuadrados se encontró los siguientes parámetros de la recta: $a = -1,18$, $b = 1,75$ con $R^2 = 0,93$ considerando la biomasa total (biomasa del tallo, hoja, ramas y biomasa de la raíz).
- Al cuarto año de edad se obtuvieron los siguientes promedios de biomasa total: $4,576 \pm 1,526$ kg; $4,034 \pm 1,005$ kg y $3,796 \pm 1,040$ kg para el cedro,

mara y roble respectivamente. Resultando la prueba estadística no significativo ($p > 0,05$).

- Varios estudios a nivel mundial llegaron a la conclusión que el 50 % de la biomasa corresponde al carbono. Considerando el factor de 0,5 se encontró un secuestro de carbono promedio al cuarto año de $2,288 \pm 0,763$ kg; $2,017 \pm 0,503$ kg y $1,898 \pm 0,520$ kg para el cedro, mara y roble respectivamente.
- Las especies forestales no son el único y más importante reservorio de carbono en los bosques en general. Todos los elementos en el bosque secuestran carbono de una u otra forma, siendo el suelo un importante reservorio de carbono. En el presente estudio se encontró una cantidad total de carbono a una profundidad del suelo de 30 cm igual a $60,9 \text{ tn C ha}^{-1}$.

6. RECOMENDACIONES

- Continuar con evaluaciones del crecimiento tanto en especies de alto valor económico (cedro, mara y roble) como en especies propias del lugar para poder implementar planes de manejo forestal sostenibles.
- Determinar los coeficientes de función potencial para las tres especies para edades mayores a cuatro años, para predecir la biomasa total (biomasa aérea y biomasa de raíces) en el sitio de estudio.
- Realizar modelos de crecimiento para las tres especies en estudio, considerando a individuos de más de cuatro años, para poder predecir el crecimiento y rendimiento de las especies forestales de alto valor económico.
- Evaluar la biomasa considerando a todo el bosque como un sistema, lo cual implica determinar la biomasa del sotobosque, arbustos, árboles comerciales, arboles no comerciales y plantas herbáceas.
- Analizar la acumulación de carbono en el suelo a diferentes profundidades, para determinar su variación e importancia en el ciclo del carbono.
- Finalmente es importante mencionar que la ecuación de biomasa encontrada en el presente estudio debe manejarse en el rango de diámetros reportados, siendo necesario readecuar los valores de la ecuación con datos incluyendo rangos de mayores diámetros a la altura del pecho en futuras evaluaciones en las tres especies forestales.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, G., 2005. Estimación de secuestro de carbono en las plantaciones forestales del Parque Nacional Tunari. Tesis de Grado. Cochabamba – Bolivia. UMSS. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias.

Argyro, Z., Ball, T., Smith, K.A., Mencuccini, M., 2005. Soil carbon dynamics in a Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) chronosequence on a peaty gley. *Forest Ecology and Management* 205, 227 – 240.

Aristizabal, J., Guerra, A., Gutierrez, B., Romero, M., 2002. Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal Nogal Cafetero (*Cordia alliodora*) – Cacao (*Theobroma cacao*) – Plátano (*Musa paradisiaca*). Tesis de grado. Bogotá – Colombia. Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. 10 – 14 p.

Bailis, R., 2006. Climate change mitigation and sustainable development through carbon sequestration: experiences in Latin America. *Energy for Sustainable Development*. Volume X, Nº 4.

Basuki, T.M., van Laake, P.E., Skidmore, A.K., Hussin Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above – ground biomass in tropical lowland *Dipterocarp* forests. *Forest Ecology and Management* 257, 1684 – 1694.

Benítez, P., Obersteiner, M., 2006. Site identification for carbon sequestration in Latin America: A grid-based economic approach. *Forest Policy and Economics*. 8, 636 – 651.

Brandeis, T.J., Delaney, M., Parresol, B.R., Royer, L., 2006. Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. *Forest Ecology and Management* 233, 133 – 142.

Brokaw, N., Thompson, J., 2000. The H for DBH. *Forest Ecology and Management* 129, 89 – 91.

Cairns, M.A., Olmsted, I., Granados, J., Arguez, J., 2003. Compositions and aboveground tree biomass of a dry semi – evergreen forest on Mexico’s Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management* 186, 125 – 132.

Cámara Forestal de Bolivia (CFB). 2014. La deforestación en Bolivia (en línea). Santa Cruz, BO. Consultado 15 jun. 2015. Disponible en <http://cfb.org.bo/noticias/medioambiente/deforestacion-en-bolivia>

Cummnings, D.L., Boone Kauffman, J., Perry, D.A., Flint Hughes, R., 2002. Aboveground biomass and structure of rainforests in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*. 163, 293 – 307.

Chilón, C.E., 1996. Manual de Edafología. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.

Elias, M., Potvin, C., 2003. Assessing inter – and intra – specific variation in trunk carbón concentration for 32 neotropical tree species. *Can. J. For. Res.* 33, 1039 – 1045.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2001. State of the World's Forests 2001. Rome, Italy.

FAO, 2006: Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147, 320 pp.

FAO – PAFBOL (Proyecto de Apoyo a la Coordinación e implementación del Plan de Acción Forestal para Bolivia). Serie Técnica XII. Información Técnica para el Procesamiento Industrial de 134 especies maderables de Bolivia.

Gallardo, L., 2000. Ciencia chilena y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 1 – 2 p. Disponible en www.cmm.uchile.cl/scc2001/data/laura.html

Gomes da Silva, W., Franco Tucci, C.A., dos Santos Hara, F.A., Cabrita dos Santos, R.A., 2007. Efeito de micronutrientes sobre o crescimento de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King) em Latossolo amarelo. *Acta amazónica* v.37(3), 371 – 376.

Grogan, J., Ashton, M.S., Galvão, J., 2003. Big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedling survival and growth across a topographic gradient in southeast Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 186, 311 – 326.

Grogan, J., Landis, R.M., 2009. Growth history and crown vine coverage are principal factors influencing growth and mortality rates of big – leaf mahogany *Swietenia macrophylla* in Brazil. *Journal of Applied Ecology* 46, 1283 – 1291.

Guijarro, J. 2003. **Resumen del tercer informe del IPCC.** 3 p. Disponible en <http://home3.worldonline.es/jaguijar/ipcc.html>

Haygreen, J., and Bowyer, J., 1996. Forest products and Wood Science – An Introduction. 3rd ed. Iowa State University Press.

INE (Instituto Nacional de Estadística). 2005. Atlas Estadístico de Municipios 2005.

IPCC, 2007: *Cambio climático 2007: 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, 104 págs.

IRNAQAÑANI. 2005. Proyecto: Fijación de carbono y recuperación de áreas degradadas mediante la forestería comunitaria en zonas de colonización de Nor Yungas. La Paz – Bolivia.

Keller, M., Palace, M., Hurtt, G., 2001. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil Examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management* 154, 371 – 382.

Kirby, K.R., Potvin, C., 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small – scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management* 246, 208 – 221.

Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220, 242 – 258.

Lemenih, M., Itanna, F., 2004. Soil carbon turnovers in various vegetation types and arable lands along an elevation gradient in southern Ethiopia. *Geoderma* 123, 177 – 188.

Leite, E., 2005. State-of-knowledge on *Amburana cearensis* (Fr. Allem.) A.C. Smith (Leguminosae: Papilionoideae) for genetic conservation in Brazil. *Nature conservation* 13, 49 – 65.

Litton, C., Sandquist, D., Cordell, S., 2006. Effects of non-native grass invasion on aboveground carbon pools and tree population structure in a tropical dry forest of Hawaii. *Forest Ecology and Management* 231, 105 – 113.

Losi, C.J., Siccama, T.G., Condit, R., Morales, J.E., 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management* 184, 355 – 368.

MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). 2015. Diplomado: “Paradigmas civilizatorios, cambio climático y restauración de la madre tierra” Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra. Módulo II: Contexto internacional y nacional sobre cambio climático. La Paz, Bolivia.

MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). 2013. Memoria técnica Mapa de Bosque 2013 (Clasificación por tipo de Bosque). Dirección General de Gestión y Desarrollo Forestal. La Paz, Bolivia.

Mostacedo, B., Villegas, Z., Licona, J.C., Alarcón, A., Leño, C., Peña, M., Poorter, L., 2008. Dinámica de la Biomasa en Áreas de Manejo Forestal Sujetas a Diferentes Intensidades de Aprovechamiento. Documento técnico # 3. Instituto Boliviano de Investigación Forestal, Santa Cruz, Bolivia.

Mostacedo, B., 2010. Dinámica de bosques. Estadística paramétrica y no paramétrica. Apuntes de clase. Curso de Estadística IBIF (Instituto de Boliviano de Investigación Forestal), Santa Cruz, Bolivia.

Nabuurs, G.J., O. Masera, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsidig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T. Karjalainen, O. Krankina, W.A. Kurz, M. Matsumoto, W. Oyhantcabal, N.H. Ravindranath, M.J. Sanz Sanchez, X. Zhang, 2007. Forestry. In Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Návar, J., 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 257, 427 – 434.

Nebel, B., y Wright, R., 1999. Ciencias ambientales. Ecología y Desarrollo Sostenible. 6ª edición, Prentice Hall, México.

Nelson, B.W., Mesquita, R., Pereira, J.L.G., Aquino de Souza, S.G., Batista, G.T., Couto, L.B., 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management* 117, 149 – 167.

Newell, R., Stavins, R., 2000. Climate change and Forest Sinks: Factors Affecting Costs of Carbon Sequestration. *Environmental Economics and Management*, 40, 211 – 235.

Pereira da Silva, R., dos Santos, J., Siza, T.E., Chambers, J.Q., Nakamura, S., Higuchi, N. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management* 166, 295 – 301.

PROGRAMA NACIONAL DE CAMBIOS CLIMÁTICOS, VMARNDP – MDSP. 2001. Estudio de la Estrategia Nacional de Participación de Bolivia en el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto. Resumen ejecutivo. La Paz, Bolivia. 13 p.

Programa Nacional de Cambios Climáticos. 2008. Entendiendo el Cambio Climático. Ministerio de Planificación del Desarrollo. Viceministerio de Planificación territorial y Ambiental. La Paz – Bolivia.

Quispe, J.C., 2008. Caracterización y Evaluación agronómica de Germoplasma de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Provincia Caranavi del Departamento de La Paz. Tesis de Grado. La Paz – Bolivia, UMSA – Facultad de Agronomía. 100 p.

Redondo-Brenes, A., Montagnini, F., 2006. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 232, 168 - 178.

Rodríguez, J., 2000. Plantas herbáceas, semileñosas y leñosas. Usos y beneficios. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. Proyecto UNIR.

Rojas, F., 2000. Botánica sistemática (Texto oficial del curso). La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés - Facultad de Agronomía.

Romagosa, I., Voltas, J., Blanco, R., 2001. Diseños de Experimentos. Volumen II. España. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida.

Rudbeck, J.M., 2006. Above – ground carbon stocks in tropical fallows, Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management* 225, 287 – 295.

Sandoval, E., 2008. Evaluación de las plantaciones en Santa Cruz Bolivia. Tesis doctoral. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Silver, W., Ostertag, R., Lugo, A., 2000. The potential for Carbon Sequestration through Reforestation of Abandoned Tropical Agricultural and Pasture Lands. *Restoration ecology*. Vol. 8 N° 4, 394 – 407.

Snook, L.K., Negreros – Castillo, P., 2004. Regenerating mahogany (*Swietenia macrophylla* King) on clearings in Mexico's Maya forest: the effects of clearing method and cleaning on seedling survival and growth. *Forest Ecology and Management* 189, 143 – 160.

Takimoto, A., Ramachandran Nair, P.K., Nair, V.D., 2008. Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 125, 159 – 166.

Ter-Mikaelian, M.T., Korzukhin M.D., 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management* 97, 1 – 24.

Trumper, K., Bertschy, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M., Manning, P., 2009. ¿La solución natural? El papel de los ecosistemas en la mitigación del cambio climático. Evaluación rápida del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, UNEP-WCMC, Cambridge, UK.

UNFCCC, 2004. Cuidar el clima. Guía de la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kioto. Bonn, Alemania. 4 p.

UNFCCC, 2002. Climate Change. Information Kit. Bonn Alemania. 19.1 – 19.2 p.

WWF Bolivia, 2007. Guía para el comprador responsable de productos Forestales. Segunda edición, Santa Cruz, Bolivia.

Zianis, D., Mencuccini, M., 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management* 187, 311 – 332.