Esta obra está bajo una Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 2.5 Perú.
Vea una copia de esta licencia en
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN - TARAPOTO
ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS

CUANTIFICACIÓN DE LA RESERVA DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE *Simarouba amara* "MARUPA" y *Swietenia macrophylla* "CAOBA" EN YURIMAGUAS - LORETO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS

MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

ING. MARCO JORGE LUIS PÉREZ ECHEVERRÍA

MOYOBAMBA-PERÙ

ABRIL, 2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

SECCION DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTION AMBIENTAL

TESIS

"CUANTIFICACIÓN DE LA RESERVA DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE *Simarouba amara* "MARUPA" y *Swietenia macrophylla* "CAOBA" EN YURIMAGUAS – LORETO"

EL SUSCRITO DECLARA QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS ES ORIGINAL, EN SU CONTENIDO Y FORMA.

Ing. Marco Jorge Luis Pérez Echeverría
EJECUTOR

Ing. M.Sc. César Enrique Chappa Santa Maria
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

SECCION DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTION AMBIENTAL

"CUANTIFICACIÓN DE LA RESERVA DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE *Simarouba amara* "MARUPA" y *Swietenia macrophylla* "CAOBA" EN YURIMAGUAS – LORETO"

APROBADA EN CONTENIDO Y ESTILO POR

Dr. WALTER JAIME ALVARADO RAMIREZ
PRESIDENTE

Ing. M.Sc. MANUEL RAMIREZ NAVARRO
SECRETARIO

Econ. M.Sc. JUAN SEGUNDO RIOS PEREZ
MIEMBRO

DEDICATORIA

La presente está dedicada a:

Dios y su hijo, Jesús de Nazaret,

por enseñarme lo bello de amar y perdonar.

A mis padres,

Quiénes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos.

A Trinidad,

Por el cariño y comprensión demostrado en los 12 años de relación.

A mis hijos,

Por ser las inspiraciones en mí vida.

Y,

A todas las personas que buscan en la ciencia el medio de seguir superándose como persona.

Este documento está dedicado a ti.

AGRADECIMIENTO.

Al Centro de Investigación, Enseñanza y Producción Agroforestal – Yurimaguas. Por permitirme desarrollar este trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional de San Martín. Por permitirme seguir creciendo en el ámbito profesional.

A mi Asesor de Tesis, Ingeniero César Enrique Chappa Santa María, por su esfuerzo y dedicación, quién con sus conocimientos, experiencias, paciencia y motivación logró guiarme con éxito por este sendero de investigación.

Así mismo, agradezco a todos los docentes, compañeros y amigos que me ayudaron en mis estudios, y comprendieron mi limitación.

INDICE

		N° Pág
I.	**INTRODUCCION**	**1**
II.	**REVISION BIBLIOGRAFICA**	**3**
2.1.	**Marco Teórico**	**3**
2.1.1.	El efecto invernadero y el clima	4
2.1.2.	Efectos Regionales	5
2.1.3.	El Carbono	5
2.1.4.	Captura de Carbono	6
2.1.5.	Concepto de Captura de Carbono	7
2.1.6.	Mitigación de la emisión de gases de invernadero por medio de la Forestación	7
2.1.7.	El ciclo de carbono	8
2.1.8.	Carbono Almacenado	9
2.1.9.	Carbono Secuestrado	10
2.1.10.	Biomasa	11
2.1.11.	Los bosques, Sistemas forestales y las reservas de carbono	12
2.1.12.	Suelos de la Amazonía Peruana	12
2.2.	**Resultados de Investigaciones similares**	**13**
2.2.1.	Descripción de la Caoba	18
2.2.2.	Descripción de la Marupa	20
2.2.3.	Descripción de la Capirona	23
2.2.4.	Descripción del Limón	24
2.3.	**Marco Legal**	**25**
2.3.1.	Protocolo de Kyoto	25
2.3.2.	Ley Nº 27308 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre, DS N° 014-2001-AG.	26
2.4.	**Mercado del Carbono**	**27**
2.4.1.	Certificado de Emisiones	27
2.4.2.	Implementación Conjunta (IC)	27
2.5.	**Actualidad sobre Eventos, Precios y Proyectos**	**28**
2.5.1.	Eventos	28
2.5.2.	Precios y mercado actual de proyectos de Captura de carbono	28
2.5.3.	Mercados Voluntarios	29
III.	**MATERIALES Y METODOS**	**30**
3.1.	**Equipos y Materiales**	**30**
3.1.1.	Equipos	30
3.2.	**Metodología**	30
3.2.1.	Ámbito	30
3.2.2.	Tipo de Investigación	30
3.2.3.	Diseño de Investigación	31
3.2.4.	Método de Análisis de Datos	31
3.2.5.	Valoración Económico de la Captura de Carbono	32
3.2.6.	**Población y Muestra**	**32**
3.2.6.1.	Población	32

3.2.6.2.	Muestra	33
3.2.7.	**Variables**	**33**
3.2.8.	Conducción del Experimento	33
IV.	**RESULTADOS Y DISCUSIONES**	**35**
4.1.	**Del diámetro a la altura del Pecho (DAP)**	**35**
4.2.	**Del Contenido de C.Kg.árbol^{-1}**	**36**
4.3.	**Del Contenido de C en T.ha^{-1}**	**38**
4.4.	**Del CO_2 en T.ha^{-1}**	**40**
4.5.	**Del H_2O.ha^{-1} utilizada para fijar CO_2**	**41**
4.6.	**Del O_2 liberado en kg.ha^{-1}**	**43**
4.7.	**Del valor económico de la biomasa aérea por servicio de secuestro de carbono**	**45**
V.	**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**	**46**
5.1.	**Conclusiones**	**46**
5.2.	**Recomendaciones**	**47**
VI.	**ANEXOS O APENDICES**	**48**
VII.	**BIBLIOGRAFIA**	**60**
7.1.	**Bibliografía**	**60**
7.2.	**Referencia Virtual**	**65**

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Análisis de varianza para el Diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros	35
2	Análisis de varianza para el Contenido de C.Kg.árbol^{-1}	36
3	Diámetro a la altura del pecho para todas las especies en diferentes densidades poblacionales	38
4	Análisis de varianza para el Contenido de C en T.ha^{-1}	38
5	Análisis de varianza para el CO_2.T.ha^{-1}	40
6	Análisis de varianza para el Kg de H_2O.ha^{-1} utilizada para fijar CO_2	42
7	Análisis de varianza para el O_2 generado en kg.ha^{-1}	43
8	Evaluación de Marupas de 2 años de edad	48
9	Evaluación de Caoba de 5 años de edad	49
10	Evaluación Marupa de 2 años de edad y Caoba de 6 años de edad	50
11	Evaluación de Marupa – caoba de 5 años de edad	51
12	Evaluación de Capirona – Estoraque de 5 años de edad	52
13	Evaluación de Capirona de 5 años de edad y Limón de 10 años de edad	53

INDICE DE ILUSTRACIONES Y GRAFICOS

Ilustración		Página
1	Reserva de C con diferentes sistemas de usos de la tierra en Yurimaguas y Pucallpa. Alegre et al. (2001).	15
2	Reservas de C en los sistemas de barbechos de ciclo corto en Yurimaguas y Pucallpa. Alegre et al. (2001).	16
3	Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al DAP	36
4	Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al Contenido de C.Kg.árbol^{-1}	37
5	Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al Contenido de C. T.ha^{-1}	40
6	Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al Contenido de CO_2.T.ha^{-1}	41
7	Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto a los Kg de H_2O.ha^{-1} utilizada para fijar CO_2	43
8	Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al O_2 liberado en kg.ha^{-1}	45
A.1	Mapa Político de la Provincia de Alto Amazonas, Departamento de Loreto	54
A.2	Mapa del Distrito de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, Región Loreto	55
A.3	Vista Satelital de la cuidad de Yurimaguas, Distrito de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, Región Loreto	56
A.4	Vista Satelital del Centro de Enseñanza, Producción e Investigación Agroforestal – Yurimaguas	56
B.1	Toma de muestra de suelo del Tratamiento 1	57
B.2	Toma de muestra de suelo del Tratamiento 2	57
B.3	Toma de muestra de suelo del Tratamiento 3	58
B.4	Toma de muestra de suelo del Tratamiento 4	58
B.5	Toma de muestra de suelo del Tratamiento 5	59
B.6	Toma de muestra de suelo del Tratamiento 6	59

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación, Enseñanza y Producción Agroforestal, localizado en la ciudad de Yurimaguas, en el departamento de Loreto. Aquí, se determinó la biomasa aérea de 06 sistemas agroforestales: ***Simarouba amara*** "marupa", de 2 años de establecimiento; Swietenia macrophylla "caoba", de 6 años de establecida; **Simarouba amara** "marupa", de 2 años de establecida y ***Swietenia macrophylla*** "caoba", de 6 años de establecida; ***Simarouba amara*** "marupa" y ***Swietenia macrophylla*** "caoba", de 5 años de establecidas; ***Calycophyllum spruceanum*** "Capirona" y ***Myroxylon balsamum*** "estoraque", de 5 años de establecidas y "***Calycophyllum spruceanum "***Capirona", de 6 años de establecida y ***Citrius limom*** "limón", de 10 años de establecimiento.

La metodología aplicada fue desarrollada por Alegre et all para condiciones similares, que consiste en: medir los diámetros de los árboles al DAP para el cálculo del volumen de los árboles, para que, finalmente, se calcule la reserva de carbono en dichos sistemas agroforestales.

Al final de todo el proceso de investigación se llegó a las siguientes conclusiones: **1)** El Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio de diámetro a la altura del pecho con 8,87 cm superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T2 (T2: Caoba - 6 años) T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T1 (Marupa – 2 años), T6 (Capirona-limón) y T3 (Marupa-caoba – 6 años) quienes reportaron promedios de 5,98 cm, 5,88 cm, 5,21 cm 5,19 cm y 5,10 cm de diámetro a la altura del pecho respectivamente. **2)** El Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio de Kg/árbol de C con 20,32 Kg/árbol de C superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T2 (T2: Caoba - 6 años), T3 (Marupa-caoba – 6 años), T6 (Capirona-limón), T1 (Marupa - 2años), y quienes reportaron promedios de 6,12 Kg/árbol, 5,1 Kg/árbol, 4,85 Kg/árbol, 4,02 Kg/árbol y 3,69 Kg/árbol respectivamente. **3)** El Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio de C 33,5 $Tn.ha^{-1}$ superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T2 (T2: Caoba - 6 años), T3 (Marupa-caoba – 6 años), T6 (Capirona-limón), T1 (Marupa – 2 años), y quienes reportaron promedios de 10,19 $Tn.ha^{-1}$, 8,5 $Tn.ha^{-1}$, 8,09 $Tn.ha^{-1}$, 6,69 $Tn.ha^{-1}$ y 6,14 $Tn.ha^{-1}$ de C respectivamente.

ABSTRACT

This research was conducted at the Center for Research, Education and Agroforestry Production, located in the city of Yurimaguas, in the department of Loreto. Here , 06 aboveground biomass was determined agroforestry systems : Simarouba love " marupa " 2 years of establishment; Swietenia macrophylla " mahogany ", established 6 years ; Simarouba love " marupa ", 2 years of established and Swietenia macrophylla " mahogany " 6 years established ; Simarouba love " marupa " and Swietenia macrophylla " mahogany ", 5 years established ; Calycophyllum spruceanum " Capirona " and Myroxylon balsamum " storax ", 5 years of established and " Calycophyllum spruceanum " Capirona " 6 years of established and Citrius limom " lemon " , 10 years of establishment.

The methodology was developed by Alegre et all to similar conditions, comprising: measuring tree diameters at breast height to calculate the volume of trees, so that finally, the carbon is calculated in these agroforestry systems.

At the end of the whole process of investigation reached the following conclusions: 1) The treatment T4 (Marupa - mahogany - 5 years) scored the highest average diameter at breast height with 8.87 cm statistically outperforming the averages obtained by the treatments T2 (T2 : Mahogany - 6 years) T5 (Capirona - estoraque - 5 years) , T1 (Marupa - 2 years) , T6 (Capirona - lemon) and T3 (Marupa - mahogany - 6 years) who reported averages 5.98 cm , 5.88 cm , 5.21 cm 5.19 cm and 5.10 cm in diameter at breast height respectively. 2) The treatment T4 (Marupa - mahogany - 5 years) had the highest average Kg / tree C with 20.32 kg / tree C statistically outperforming the averages obtained by treatments T5 (Capirona - estoraque - 5 years) , T2 (T2 : Mahogany - 6 years), T3 (Marupa - mahogany - 6 years) , T6 (Capirona - lemon) , T1 (Marupa - 2 years) , and who reported averages of 6.12 Kg / tree 5.1 kg / tree , 4.85 kg / tree , 4.02 kg / tree and 3.69 kg / tree respectively . 3) T4 (Marupa - mahogany Treatment - 5 years) had the highest average of 33.5 C -1 Tn.ha statistically outperforming the averages obtained by treatments T5 (Capirona - estoraque - 5 years) , T2 (T2 : mahogany - 6 years), T3 (Marupa - mahogany - 6 years) , T6 (Capirona - lemon) , T1 (Marupa - 2 years) , and who reported averages 10.19 Tn.ha -1, 8,5 Tn . ha-1 , 8.09 Tn.ha -1 , 6.69 and 6.14 Tn.ha Tn.ha -1 C -1 respectively .

© Marco Jorge Luis Pérez Echeverría 2014
Todos los derechos reservados

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques naturales son principalmente secuestradores de dióxido de carbono, pero existen otras alternativas de uso de tierra como los sistemas agroforestales o la reforestación convencional planificada, incluyendo sistemas agrosilvopastoriles con ***Bactris gasipaes* - Kunth** (Arévalo, 1992); que pueden secuestrar en promedio de noventa y cinco toneladas de carbono por hectárea en quince años, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 ha manejadas con sistemas tradicionales.

La cantidad de carbono almacenado se relaciona con la capacidad del bosque de mantener cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad, condiciones de clima y suelo. Se asume que el 45% de la biomasa seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono almacenado que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar de 150 y 382 $T.ha^{-1}$, por lo tanto el carbono almacenado varía entre 67,5 a 171 $T.ha^{-1}$ (Alegre *et al*., 2001).

Los diferentes componentes que conforman los sistemas productivos, sean estos agroforestales, forestales, agrosilvopastoriles entre otros, capturan el carbono atmosférico según su característica de desarrollo fisiológico y genético, por lo que se hace imprescindible contar con información científica de la cantidad de carbono que pueden secuestrar algunas especies forestales instaladas en sistemas agroforestales. En este caso en particular, nos referimos a sistemas agroforestales de *Simarouba amara* "marupa" y *Swietenia macrophylla* "caoba" instaladas en suelos degradados de la Amazonía peruana, en la ciudad de Yurimaguas. Por lo indicado, hemos partido de la hipótesis de la existencia de diferencia en la captura de carbono entre los diferentes sistemas agroforestales establecidos en suelos degradados en la provincia de Alto Amazonas.

El presente trabajo de investigación, para obtar el grado de magister, tuvo como **objetivo general**: **Cuantificar la reserva de carbono en la biomasa aérea en sistemas agroforestales de *Simarouba amara* "marupa" y *Swietenia macrophylla* "caoba" establecidos en suelos degradados de Yurimaguas – Loreto**, así mismo, los objetivos específicos fueron:

- Inventariar y caracterizar los componentes de los sistemas agroforestales con ***Simarouba amara*** “marupa” y ***Swietenia macrophylla*** “caoba”.
- Determinar la cantidad de carbono en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales con ***Simarouba amara*** “marupa” y ***Swietenia macrophylla*** “caoba”.
- Estimar el valor económico de la biomasa aérea por servicio de secuestro de carbono.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Marco Teórico

A fines de los años 70´es el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y luego la Sociedad Mundial de Meteorología (SMM), alertaron sobre una drástica variación climática a nivel mundial (UNEP y GMS, 1992), como consecuencia de la gradual y creciente acumulación de ´gases de invernadero´ (GEI) en la atmósfera, provenientes fundamentalmente de la masiva deforestación y de la actividad industrial (IUCC y PNUMA, 1995).

La Convención Marco de las Naciones Unidas, sobre el Cambio Climático (CMNUC), se estableció en 1992, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), en Río de Janeiro, Brasil. Su principal objetivo fue "*estabilizar la concentración de gases de efecto de invernadero a un nivel que permita impedir interferencias antropógenas peligrosas con el sistema climático*" (OIMT, 1998).

Luego de su evaluación en 1995 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GIECC) concluyó que las crecientes concentraciones atmosféricas de los principales gases de efecto de invernadero (GEI), podrían producir un aumento en la temperatura mundial y otros cambios en el medio ambiente (IPCC, 1995). Sobre la base de los datos y la información disponibles en relación con las estimaciones anuales medidas de emisiones de GEI para el periodo 1980-90, el GEICC proyectó que las emisiones de GEI podrían conducir a un aumento de 1 a 35 ºC en las temperaturas media mundiales para el año 2100, un aumento superior a las variaciones totales de temperaturas registradas en el mundo en los últimos 10,000 años (IPCC, 1995; OIMT, 1998).

Las emisiones de GEIs, especialmente de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, se producen debido a actividades humanas en el sector energético, cambio en el uso de tierras y el sector forestal, así como por la actividad industrial y la gestión de desechos (UNEP y GMS, 1992). El informe del GIECC estima que el último decenio, las emisiones

antropógenas alcanzaron un total de 7,1± 1,1, Gt C por año. Las emisiones netas de estos gases producidas por cambios en el uso de tierras y la actividad forestal se estiman en de 1,6± 1,1, Gt C por año, procedentes principalmente de las latitudes inferiores. Este sector tiene potencial para liberar grandes cantidades ya que hay alrededor 1,000 Gt C (Gt C equivalente a 1000 millones de toneladas métricas de carbono, equivalente a 3670 millones de toneladas de CO_2) almacenado en los bosques del mundo (OIMT, 1998).

2.1.1. El efecto invernadero y el clima

El efecto invernadero es un fenómeno natural del calentamiento térmico de la Tierra, es esencial para mantener la temperatura del planeta en condiciones óptimas o ideales para la supervivencia, y sin él, la Tierra sería demasiado fría, lo que dificulta el desarrollo de las especies y la existencia de vida. Se le llama así debido a que el mismo efecto se puede observar, aunque en menor medida, en el interior de un invernadero. El efecto invernadero se produce también en otros planetas o cuerpos planetarios rocosos dotados de atmósfera. Por ejemplo, en nuestro Sistema Solar son tres planetas los que presentan efecto invernadero, Venus, la Tierra y Marte. En el caso de Venus, la temperatura es superior a 470°C debido al dióxido de carbono contenido en su atmósfera. (http://www.significados.info/efecto-invernadero/)

El aumento de la temperatura media global que se viene constatando en este siglo y que continuaría en los próximos decenios, preocupa al mundo científico y genera inquietudes en los más diversos ámbitos. El hecho en sí no merecería mayor atención, sino fuera por las eventuales consecuencias sobre el clima. Y a partir de éstas sobre la producción de alimentos, la salubridad mundial, la economía en general y aún las presiones migratorias. Debido a la incertidumbre sobre el alcance de tales efectos que podrían adquirir proporciones apocalípticas, los esfuerzos se dirigen actualmente a inferir la localización, la cronología y la intensidad probable de los cambios climáticos. Esto es necesario a fin de guiar las decisiones políticas adecuadas para evitar, mitigar o paliar de alguna manera sus consecuencias negativas (Maisonnave, 1997).

“Efecto invernadero”: aumento de temperatura en la biosfera, causado por la atmósfera. Sin la presencia de los efectos térmicos de la atmósfera, la temperatura media debida a la radiación solar y al calor interior de la tierra, sería 18°C (255° K). Las propiedades de

ciertos gases en la atmósfera elevan esa temperatura media global a + 15°C (288°K). “Gases de invernadero”: dichos gases son en orden de importancia de sus efectos: vapor de agua; CO_2; (CFC) x; CH_4; N_20 y O_3. Otros gases, incluidos el N_2 y el O_2, tienen una influencia térmica ínfima.

El Albedo, es el reflejo de la radiación solar por la atmósfera y por las superficies del globo terráqueo. Se produce principalmente por las nubes, el polvo volcánico, el levantado por el viento y el producido por actividades humanas, la nieve, el hielo y las superficies acuáticas y terrestres. Es mayor en los desiertos que en las zonas cubiertas por la vegetación. El SO_2 en la atmósfera también incrementa el albedo (Maisonnave, 1997).

2.1.2. Efectos regionales.

En tierra, la mayor temperatura acelerará la desecación, la menos en las regiones donde no se dé más nubosidad o lluvias. El aumento del CO_2 atmosférico, puede compensar en parte esa reducción. Junto con la mayor disponibilidad de agua dulce para riego permitirá la producción de alimentos en tierra. Los modelos muestran mayor calentamiento en las zonas frías que en las tropicales (5°C y 1°C). Como resultado, al haber menores diferencias de temperatura disminuirán las tormentas huracanadas. Esa tendencia ya se ha comprobado en el Atlántico Norte y parecería también en el Caribe. La impresión del público puede ser otra por el aumento de población y de comunicaciones en los últimos 50 años. (Maisonnave, 1997)

No hay dudas sobre la influencia de las selvas en el clima y como reservas de carbono y fijadoras de CO_2. El aumento de cultivos de arroz y el incremento de los rebaños de rumiantes contribuirán al aumento del CH_4 en la atmósfera. El uso de fertilizantes nitrogenados y la rotación del cultivo de leguminosos para mantener la productividad de la tierra contribuirán al aumento del N_2O (Maisonnavee, 1997)

2.1.3. El Carbono

El carbono es un elemento notable por varias razones. Sus formas alotrópicas incluyen, sorprendentemente, una de las sustancias más blandas (el grafito) y la más dura (el

diamante) y, desde el punto de vista económico, es de los materiales más baratos (carbón) y uno de los más caros (diamante). Más aún, presenta una gran afinidad para enlazarse químicamente con otros átomos pequeños, incluyendo otros átomos de carbono con los que puede formar largas cadenas, y su pequeño radio atómico le permite formar enlaces múltiples (Pérez, 2011).

En la naturaleza, el carbono se halla por doquier: en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (carbonatos), y en el aire como dióxido de carbono. Todos los organismos vivos son compuestos de carbono, que se obtienen como resultado de los procesos metabólicos durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith, 1993).

Es un componente esencial de todos los seres vivos. Existe en su mayor parte como dióxido de carbono en la atmósfera, los océanos y los combustibles fósiles (carbón, petróleo y otros hidrocarburos). El dióxido de carbono en la atmósfera es absorbida por las plantas y convertidas en carbohidratos y tejidos a través del proceso de la fotosíntesis, como parte del ciclo del carbono (Lapeyre *et al*, 2004).

2.1.4. Captura de carbono

La captura de Carbono mediante plantación de árboles, es sólo la pequeña parte de una solución temporal al problema del Calentamiento Global. Sería necesario cambiar nuestros patrones de consumo y conducta ante la vida para resolver este problema. La captura de carbono se realiza únicamente durante el desarrollo de los árboles. Los árboles absorben dióxido de carbono (CO_2) atmosférico junto a otros elementos del suelos y aire para convertirlos en madera. La cantidad de CO_2 que un árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual de la biomasa en el árbol multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono. Aproximadamente 42% a 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar su madurez. (De La Vega, 2007)

Cuando el árbol muere, emite hacia la atmósfera la misma cantidad de carbono que capturó. En estado estable, un bosque en plena madurez aporta la misma cantidad de carbono que captura. Por tanto, no es importante cuanto carbono el árbol captura inmediatamente, sino cuanto carbono captura durante toda su vida. Para calcular la captura de carbono es necesario conocer el período en cual el bosque alcanzará su madurez. Los índices de captura de carbono varían de acuerdo al tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque (De La Vega, 2007).

Plantas, animales y humanos, son formas de vida basadas en el carbono que utilizan energía solar para obtener el carbono necesario para la química en las células. Las plantas absorben CO_2 a través de los estomas en sus hojas; particularmente por la noche, los árboles emiten más CO_2 del que absorben a través de sus hojas. La planta concentra alrededor de 40% de carbono en los tejidos vegetales, lo que demuestra la capacidad formidable de la fotosíntesis (Ismiño y Chappa, 2006).

2.1.5. Concepto de Captura de Carbono

El concepto de captura de carbono normalmente se relaciona a la idea de almacenar reservas de carbono en suelos, bosques y otros tipos de vegetación, donde dichas reservas están en peligro inminente de ser perdidas. También se promueve el incremento de las reservas de carbono por el establecimiento de nuevas plantaciones forestales, sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados. Conservación, reforestación y un manejo optimizado de la administración de bosques son los principales métodos mediante los cuales el carbono atmosférico puede ser capturado. En teoría, el efecto de la captura por procesos de forestación puede ser cuantificado estimando el almacenamiento de carbono en la biomasa de la tierra y los productos de madera (UNEP, GEMS; 1992).

2.1.6. Mitigación de la emisión de gases de invernadero por medio de la Forestación

Los bosques juegan un papel muy importante en el ciclo global del carbono. Hoy en día, la deforestación es responsable de aproximadamente 1.8 GtC ó 20% de las emisiones anuales de bióxido de carbono producidas por la humanidad. Sin embargo, se estima que la reforestación podría capturar de 50 a 100 GtC de carbono en la próxima mitad del siglo (Mendez, 2001).

Los conceptos de la captura de carbono y las incertidumbres respecto a las medidas del efecto de la mitigación de los programas específicos, están en discusión. Muchos de los obstáculos para explotar el potencial de captura por forestación son institucionales, económicos y políticos. Una regulación del mercado internacional para la captura de carbono es necesaria para mantener estándares aceptables en proyectos de forestación implementados para este fin (UNEP, GEMS; 1992).

En el Perú, la distribución de las emisiones de CO_2 se da de la siguiente manera: Deforestación 62 %, consumo de Energía 27 % y procesos Industriales 11%. Los bosques son susceptibles a ser valorados, no únicamente por sus recursos maderables, sino también por los servicios ambientales que realizan en el planeta (valor funcional), como por ejemplo , el reciclaje de materia mediante los ciclos biogeoquímicos (sumideros de CO_2), la protección de suelos y la regulación de recursos hídricos en cuencas (UICN, 2001).

Se analiza el valor funcional de los bosques solo por la captura de CO_2, el principal responsable del efecto invernadero, en los bosques. El valor dado por Adger *et al*. (1995), para bosques de México una hectárea de bosque permanente captura 34 toneladas de CO_2 atmosférico al año. En Selva cada hectárea del bosque tropical permanente captura 164.8 toneladas de CO_2 atmosférico en su biomasa al año. (Adger *et al*. 1995).

2.1.7. El ciclo del carbono

El ciclo del carbono son las transformaciones químicas de compuestos que contienen carbono en los intercambios entre biosfera, atmósfera, hidrosfera y litosfera. Es un ciclo de gran importancia para la supervivencia de los seres vivos en nuestro planeta, debido a que de él depende la producción de materia orgánica que es el alimento básico y fundamental de todo ser vivo.

El carbono es un componente esencial para los vegetales y animales. Interviene en la fotosíntesis bajo la forma de CO_2 (dióxido de carbono) o de H_2CO_3 (ácido carbónico), tal como se encuentran en la atmósfera. Forma parte de compuestos como: la glucosa, carbohidrato fundamental para la realización de procesos como la respiración y la

alimentación de los seres vivos, y del cual se derivan sucesivamente la mayoría de los demás alimentos (Pérez, 2011).

Las Plantas incorporan el anhídrido carbónico de la atmósfera y de los océanos al transformarlo en compuestos orgánicos, convirtiendo la energía de la luz en enlaces C-C. Las Plantas también producen anhídrido carbónico por su respiración. Los animales producen anhídrido carbónico derivado de la utilización de los hidratos de carbono y otros productos producidos por las plantas. En el balance entre el consumo de anhídrido carbónico que realizan las plantas y la producción del mismo por los animales intervine como "buffer" la formación de carbonatos en los océanos, que remueve el exceso de anhídrido carbónico del aire y del agua (ambos intervienen en el equilibrio del anhídrido carbónico).

Los combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, como así también la madera generan anhídrido carbónico al ser utilizados. La actividad humana incrementa en grandes proporciones la concentración de anhídrido carbónico en el aire. Dado que este, a diferencia de otros compuestos de la atmósfera absorbe el calor reflejado desde la Tierra, incrementa la temperatura global y produce lo que ha dado llamarse "efecto invernadero" (Woods, 1998).

2.1.8. Carbono Almacenado

El concepto de carbono almacenado, se relaciona a la capacidad del bosque de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad afectada por las condiciones del suelo y clima (Arévalo, 2003).

Los árboles tienen la capacidad de almacenar el dióxido de la atmósfera basado en el hecho de que la fotosíntesis absorbe el dióxido de carbono, que luego utilizan para generar el alimento necesario para su crecimiento, estimándose que una hectárea de plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 t de carbono de la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar (Hidalgo, 2006).

Se asume que el 45% de la biomasa vegetal total es carbono. Por lo tanto en los bosques existe acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar entre 150 y 382 $T.ha^{-}$

[1], por lo tanto la capacidad máxima de carbono almacenado varía entre 67.5 a 171 $T.ha^{-1}$ (Fernández, 2010).

2.1.9. Carbono Secuestrado

El secuestro de carbono mediante los bosques se ha convertido en un servicio ambiental reconocido a escala global, que puede tener un valor económico considerable para países en vías de desarrollo (Ramírez *et al*., 1999). Esto es debido a la preocupación creciente por los cambios climáticos y su impacto en la actividad humana y en los recursos naturales, causado por los gases provenientes de procesos industriales, la actividad agrícola, el uso de combustibles fósiles y la deforestación, que son responsables de la mayor parte de estas alteraciones climáticas; entre ellos, el CO_2, es uno de los más abundantes, con efecto invernadero en la atmósfera (Cielsa, 1996).

Una forma de mitigar el efecto invernadero del CO_2, además de reducir las emisiones, es almacenarlo el mayor tiempo posible en la biomasa y el suelo. Los bosques son el principal sumidero de CO_2. Sin embargo, los sistemas agroforestales pueden contribuir de manera importante. Esto pudo observarse en una hectárea en uso agroforestal en donde se determinó que puede almacenarse un promedio de 95 MgC, además de suministrar bienes y servicios (López, 1998).

La contribución de los tallos leñosos a la biomasa arriba del suelo es muy importante para la fijación de carbono. Este componente es vital para la fijación, ya que al remover la cobertura forestal de un terreno, no sólo se reduce la fijación de carbono en la fuente biomasa arriba del suelo, sino que consecuentemente se reduce la fijación en el componente del suelo (Alvarado *et al*., 1999).

En sistemas agroforestales, el componente más importante de la biomasa arriba del suelo es el de los árboles. El 68% del carbono fijado proviene de los árboles de sombra (Alvarado *et al*., 1999) debido al volumen de celulosa que contienen. También se ha observado que la mayor fijación de carbono tiene una relación directa con las regiones, debido a las condiciones climáticas (Alvarado *et al*., 1999).

Winrock Internacional (1998), en un trabajo realizado en Guatemala, estudió la fijación de carbono en sistemas agroforestales con café. Los resultados demostraron que en

promedio el carbono en el sistema cafetalero se dividió de la siguiente forma: 27 $T.C.ha^{-1}$ en la biomasa arriba del suelo, 4 $T.C.ha^{-1}$ en la biomasa abajo del suelo, 4 $T.C.ha^{-1}$ en la hojarasca y 48 $T.C.ha^{-1}$ en el suelo (0-30 cm), lo cual hace un total de 85 $T.C/ha^{-1}$. Se concluyó al comparar con los resultados de carbono en tierras degradadas y cultivos anuales, que el carbono adicional fijado por el sistema cafetalero respecto a estos usos del suelo se encuentra en los árboles que conforman la sombra del sistema agroforestal café árboles.

Fournier (1996), presenta valores de fijación de carbono en bosque pluvial, bosque estacional y cafetales sin sombra, los cuales son 263, 205 y 77 $T.ha^{-1}$ respectivamente para cada sistema.

En la octava sesión de la Conferencia de las Partes, conformada por los países del mundo, sobre cambio climático en Nueva Delhi, 2002, se discutió el tema del pago por almacenamiento de carbono. Los negociadores decidieron durante la última ronda en Marrakech, 2002, que los países podrían cumplir con parte de sus compromisos para reducir las emisiones de carbono para el periodo 2008 a 2012 financiando la reforestación en países en vías de desarrollo. Esto funcionaría a través del Mecanismo de Desarrollo limpio (MDL) del protocolo de Kioto, (Scherr y Smith, 2002, citados por Kaimowitz, 2003).

Por otra parte el éxito de los proyectos del MDL deberá medirse simultáneamente a través de las reducciones de emisiones logradas y de la contribución efectiva al desarrollo sostenible que realice. Los proyectos deberán concebirse de manera que provean beneficios económicos y sociales a la población de las regiones pertinentes lo que permita que ésta se comprometa con el éxito del proyecto ya que la captación de carbono por sí sola no parece constituir una motivación suficiente como para asegurar la continuidad de los proyectos debido a que la participación social podría reducir los requerimientos de control, supervisión y por consiguiente los costos (Beaumont, 1999).

2.1.10. Biomasa

Las plantas usan el sol para crecer. La materia orgánica de la planta se llama biomasa y almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La biomasa es parte del ciclo natural del carbono entre la tierra y el aire. En el concepto de biomasa no se debe

incluir la turba (Combustible fósil formado de residuos vegetales acumulados en sitios pantanosos, de color pardo oscuro, aspecto terroso y poco peso, y que al arder produce humo denso), que a efectos de emisiones de CO_2 equivale a un combustible fósil; además, dados los impactos ambientales derivados de la explotación de turberas, no se podría considerar energía renovable la obtenida de esta fuente de energía (López, 1994).

2.1.11. Los bosques, sistemas forestales y las reservas de carbono

Los bosques naturales son principalmente secuestradores de dióxido de carbono, pero existen otras alternativas de uso de tierra como los sistemas agroforestales o la reforestación planificada, incluyendo sistemas agrosilvopastoriles; que pueden secuestrar en promedio de 95 toneladas de carbono por hectárea en quince años, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 hectáreas manejadas con sistemas tradicionales.

La cantidad de carbono almacenado se relaciona con la capacidad del bosque de mantener cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad, condiciones de clima y suelo. Se asume que el 45% de la biomasa seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono almacenado que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar de 150 y 382 $T.ha^{-1}$, por lo tanto el carbono almacenado varía entre 67,5 a 171 $T.ha^{-1}$ (Alegre *et al*., 2001).

2.1.12. Suelos de la Amazonía Peruana

La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) caracterizó los suelos de la Selva, encontrándose 7 de los 10 órdenes de suelos que existen. Los órdenes de suelos encontrados por ONERN son los siguientes:

ULTISOLES, suelos rojos y amarillos de baja fertilidad natural, ocupan aproximadamente las dos terceras partes de la Selva Baja, así como en terrazas antiguas y laderas en la Selva Alta. Estos suelos también se denominan "Acrisoles" y "Podzólicos Rojo Amarillos" en otros sistemas de clasificación.

La siguiente en importancia son los suelos jóvenes con muy poca diferenciación en el perfil denominados ENTISOLES, los cuales ocupan el 17% de la región. Se incluyen en estos grupos suelos mal drenados (Aquents) principalmente en las orillas de los ríos, suelos aluviales no inundables (Fluvents), como también suelos muy jóvenes y poco profundos ubicados en pendientes fuertes (Orthents).

Los INCEPTISOLES, suelos jóvenes que muestran una diferenciación de horizontes A, B y C, ocupan el 14% de la Selva. Gran parte están ubicados en aguajales o zonas mal drenadas (Aquepts). Sin embargo, muchos inceptisoles bien drenados (Eutropepts) tienen un gran potencial agrícola.

Los suelos ALFISOLES se asemejan a los Ultisoles pero tienen un menor grado de acidez y son de fertilidad superior. La Selva Peruana posee alrededor de 2.3 millones de hectáreas de estos suelos.

Los VERTISOLES son suelos arcillosos pesados que se agrietan cuando se secan y se hinchan cuando se humedecen. Su fertilidad natural es mediana pero superior a los Ultisoles.

Los MOLISOLES son suelos negros originarios de rocas calcáreas que ocurren en algunas zonas de selva alta. Finalmente los ESPODOSOLES o PODZOLES son suelos sumamente arenosos, ácidos y con tan baja fertilidad natural que no son capases de soportar una actividad agrícola convencional estable en el trópico húmedo.

2.2. Resultados de investigaciones similares

La deforestación es una de las actividades que emite mayores niveles de gases de efecto invernadero, contaminantes que están provocando una grave crisis climática. El 20 por ciento de las emisiones globales anuales de gases contaminantes proviene de la deforestación, de acuerdo a datos oficiales. La tala de bosques mediante grandes maquinarias industriales y la quema de los restos de los árboles en esas grandes áreas de tierra constituyen una grave amenaza a la Humanidad (deforestación y cambio climático). Por lo que Se asume que el 45% de la biomasa vegetal total es Carbono (Palm *et al.,* 1999). Por lo tanto en los bosques existe acumulación de carbono que no es soltado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa puede

variar entre 150 y 382 $T.ha^{-1}$, por lo tanto la capacidad máxima de carbono almacenado varía entre 67,5 a 171 $T.ha^{-1}$ (Alegre *et al*, 2000). Una forma de mitigar estos efectos y reducir las emisiones, es fijándolo o capturándolo y manteniéndolo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y en el suelo. En el primer caso se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica.

Según el ICRAF "La Agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y de tierra que procura aumentar los rendimientos de forma continua, combinado la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo compatibles con las prácticas culturales de la población local" (Larrea, 2007).

Los bosques naturales son el principal sumidero para el CO_2, pero existen otras alternativas como son los sistemas agroforestales y forestales que además de tener la facultad de secuestrar carbono, proporcionan bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que deforesten más hectáreas de bosques, reduciendo la presión sobre los recursos naturales.

En el gráfico 1, se muestra las reservas de carbono total en la biomasa y en el suelo en diferentes sistemas de uso de tierras en Yurimaguas y en Pucallpa. Mientras los niveles de C en el suelo permanecen relativamente estables cuando la tierra es convertida de foresta para otros usos, las reservas de C en la biomasa aérea es considerablemente reducida.

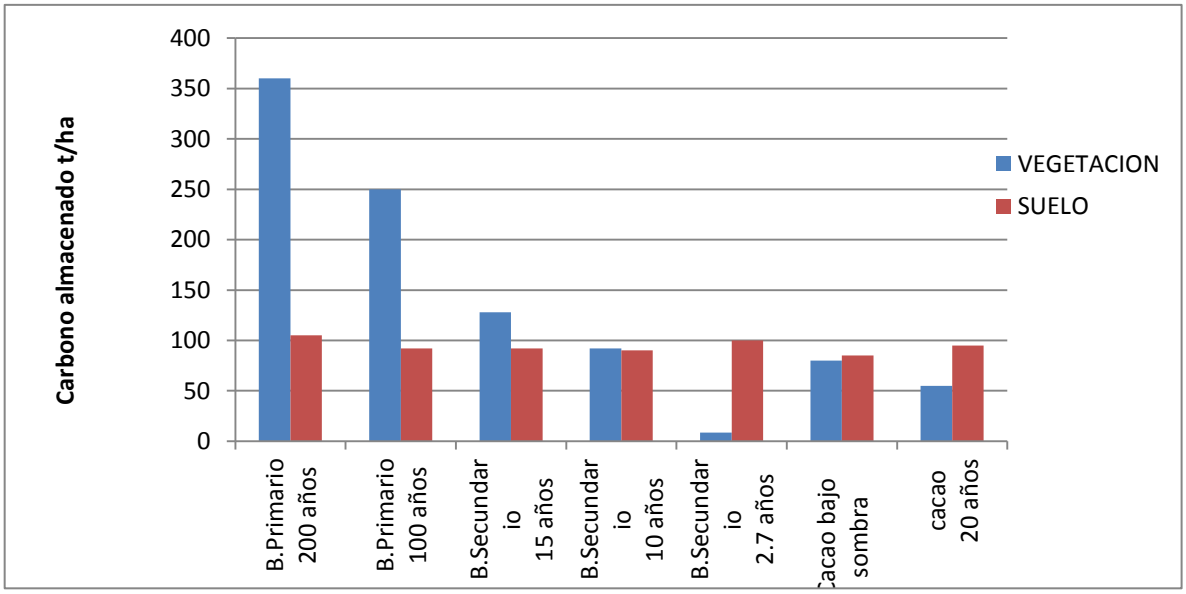

Gráfico 1: Reserva de C con diferentes sistemas de usos de la tierra en Yurimaguas y Pucallpa. Alegre *et al*., (2001).

La foresta y los barbechos antiguos tuvieron los contenidos más altos de C en ambos sitios. El barbecho natural comparado con los barbechos de ciclos cortos aumentó ligeramente el contenido de C con el tiempo. El nivel de C de la biomasa en todos los sistemas manejados es más bajo que el de los bosques naturales. Sin embargo, entre los sistemas manejados el contenido de C en los sistemas perennes con árboles fue más alto y fluctuó desde 63 $T.ha^{-1}$ para la plantación de amburana, hasta 99 $T.ha^{-1}$ para la plantación de Maruja. Los huertos familiares tuvieron 85 $T.ha^{-1}$ vs. 53 $T.ha^{-1}$ plantaciones de cacao (Pucallpa). En sistemas agroforestales de Yurimaguas estos valores fueron bajos para barbechos cortos y aumentan ligeramente cuando combinan con especies arbóreas de rápido crecimiento (*Inga* sp.) con coberturas (*Centrosema macrocarpum*), que almacenaron 33 $T.ha^{-1}$ en 3 años y solo 9 $T.ha^{-1}$ con un bosque secundario natural de la misma edad *(*Alegre *et al.,* 2001*).*

Los sistemas con cobertura permanente de centrosema (*C. macrocarpum*) abastecen permanentemente de hojarasca y con ello una rápida disponibilidad de nutrientes y una fuerte defensa contra la erosión, sin embargo como biomasa total, comparados con árboles son mucho menores pues no pasan de 6 $T.ha^{-1}$. Los pastos tuvieron cantidades muy bajas de C. Finalmente las reservas de C en los sistemas de uso de tierras en

Yurimaguas con barbechos cortos fueron mayores que en Pucallpa debido a que en Yurimaguas la intensificación de uso de tierras es menor y el grado de degradación de los suelos es menor que en Pucallpa *(*Alegre *et al.,* 2001*).*

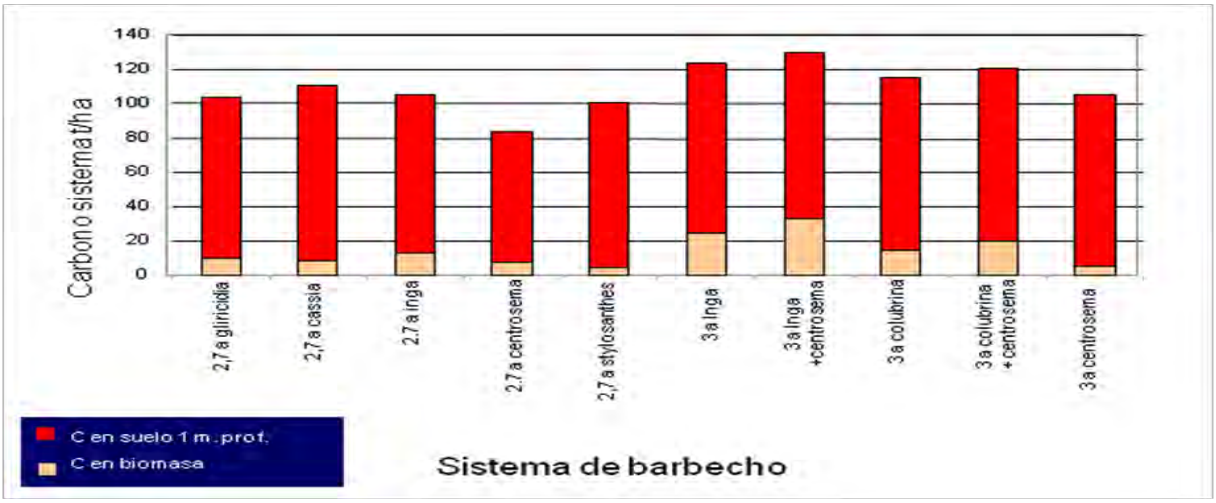

Gráfico 2: Reservas de C en los sistemas de barbechos de ciclo corto en Yurimaguas y Pucallpa. Alegre *et al*. (2001).

Estos resultados, resaltan los cultivos de árboles perennes, basados en sistemas de multiestratos como cacao, huertos semilleros o plantaciones a campo abierto; alcanzan del 17 al 27% del C secuestrado del bosque primario de 200 años, comparado con solo 1% con los sistemas de coberturas o pastos. Los cultivos perennes y los sistemas multiestratos como cacao o huertos son más económicos y atractivos para los agricultores que los cultivos anuales. Los flujos de C variaron entre 1 hasta 11 $T.ha^{-1}$ siendo las plantaciones perennes, así como los barbechos cortos con Inga, los que presentaron mayores flujos (Alegre *et al*., 2001).

Lapeyre (2004), determinó reservas de carbono en sistemas de bosque primario, secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas típicos de la zona: Maíz *(Zea maíz),* Arroz *(Oriza sativa)* y pastos *(Brachiaria sp.)* y en sistemas agroforestales tales como Café (*Coffea arabica* L.*)* bajo sombra y Cacao *(Theobroma cacao* L.*).* En cada uno de estos sistemas se establecieron al azar cinco transeptos donde se evaluó la biomasa arbórea; dentro de estos transeptos se establecieron cuadrantes también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca. El carbono total en bosque primario fue de 485 $T.ha^{-1}$, habiéndose reducido las reservas en más de 50% con el

bosque secundario de 50 años (234 $T.ha^{-1}$). El bosque descremado de 20 años perdió más del 80% de reservas (62 $T.ha^{-1}$). Se observó que los sistemas boscosos alterados, difícilmente recuperan sus reservas de carbono y menos aún si son frecuentemente perturbados, citado por Larrea, 2007.

Ismiño y Chappa (2006), estimaron la cantidad de carbono retenido en la biomasa de la hojarasca, biomasa arbustiva, biomasa arbórea y en los 5 cm. superficiales del suelo, en un sistema agroforestal de café bajo sombra de *Inga edulis* y determinó la proporción relativa entre sus componentes, en el distrito de Rumizapa, provincia de Lamas, departamento de San Martín. Utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 5 tratamientos y 5 repeticiones. Los resultados reportan que, la mayor cantidad de carbono capturado en comparación a los demás parámetros evaluados, fue la biomasa arbórea del bosque primario, con 79 008.40 kg. $C.ha^{-1}$, seguido del suelo (bosque primario), hojarasca (café de 6 años), y biomasa herbácea (café de 5 años), con 37500, 7900.46 Y 2408.12 kg. C/ha respectivamente. Isminio afirma que, la mayor acumulación de carbono en cafetos mayores de 5 años, puede deberse al grosor de los tallos y las ramas, en estas partes se acumulan la mayor cantidad de carbono.

Larrea (2007), concluye, que los sistemas de cacao con especies forestales maderables y frutales, presentaron una mayor acumulación de carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea, a su vez, estas combinaciones favorecen de manera constante la presencia de abundante hojarasca, funcionando como principal agente de conservación del suelo y excelente controlador de maleza. Los flujos de la fijación de carbono para cada uno de los sistemas fluctuaron desde 0.99 a 8.02 T.C.ha.año. El sistema más rentable para la comercialización de créditos de carbono, es el cacao de 8 años con sombra de capirona, bolaina y caoba, con un ingreso anual aproximado de US$ 150.33 T. CO_2.ha.año.

Muños (2006), afirma que, el contenido de carbono en el suelo, disminuye con la profundidad, donde el decrecimiento es en forma exponencial, lo cual concuerda con Bernoux *et al*., (1998), quien indica que en sistemas agrícolas es común encontrar

disminuciones exponenciales de C. Además determinó que un 65 – 70% del total del total de carbono se encuentra en los primeros 10 cm. del suelo.

Schimel (1998) y Oren (2001), afirmaron que, las formaciones de complejos establecidos entre el carbono y la fase mineral del suelo depende del contenido de arcilla en el suelo. Los suelos arenosos carecen de la capacidad de absorción por su estructura atómica y es posible lograr la absorción y estabilización del carbono en ellos, pero los suelos en su mayoría arcillosos tienen una capacidad determinante en la absorción del carbono (Larrea, 2007).

2.2.1. Descripción de la Caoba

Árbol perennifolio o caducifolio, de 35 a 50 m (raramente hasta 70 m) de altura, diámetro a 18 dm de altura: 10 a 18 dm (hasta 35 dm). Copa abierta, redondeada en forma de sombrilla. Hojas alternas, paripinnadas (pocas veces imparipinnadas), de 1 a 4 dm de largo (incluyendo pecíolo); 3-5 pares de folíolos, de 5 x 2 a 12 x 5 cm, lanceolados a ovados, asimétricos, márgenes enteros. Es el árbol emblemático del estado Portuguesa (Venezuela) (Pérez, 2011).

Tronco recto, sin ramas hasta cierta altura, algo acanalado, con sistema radical profundo. Ramas gruesas ascendentes, escasas, retorcidas por arriba de los 25 m; corteza externa profunda, muy fisurada, especialmente en el caobo negro, costillas escamosas, alargadas, pardo grisáceas a castaño grisáceas; corteza interna rosada a roja, fibrosa, amarga, astringente, 1 a 3 cm de grosor. A través de las grietas de la corteza puede verse el color rojizo de la madera, más oscuro cuanto más profunda sea la grieta (Pérez, 2011).

Madera rojiza, que da nombre al color caoba (de marrón rojizo hasta vino tinto), muy pesada y maciza, por lo que se hunde rápidamente en el agua y no se pueden utilizar los ríos para que floten los troncos hacia un aserradero. Es una madera de grano fino, ideal para la ebanistería por ser fácil de tallar, de gran valor para la elaboración de muebles y, en general, constituye una de las maderas de mayor valor en el mercado mundial (Pérez, 2011).

Flores pequeñas, verdosas amarillentas, en panículas axilares y subterminales, glabras, de hasta 2 dm de largo. Hermafrodita (ambos sexos en la misma inflorescencia); las masculinas más abundantes que las femeninas, ambas muy perfumadas. Flores actinomórficas, de 6 a 9 mm de diámetro; cáliz acopado; 5-pétalos, corola oval, cóncava. Fruto cápsula leñosa, ovoide a oblonga, pardo rojizo (a veces grisáceo), de 1 a 2 dm x 8 cm, dehiscentes desde la base, abre en 4 a 5 valvas. 40-60 semillas por fruto (por lóculo 12). Semillas numerosas de 1 cm de largo, asimétricos, comprimidos, color canela, con una prolongación alar asimétrica, de 6 a 8 cm de largo. Semillas aladas muy amargas, astringentes, extremadamente livianas para que el viento las disperse a cierta distancia (Pérez, 2011).

Ecología

Figura tallada en un bloque macizo de un tronco de caobo, en la que pueden verse los anillos circulares de crecimiento del árbol en las vetas de la madera, aunque debe señalarse que no se trata de anillos anuales por no desarrollarse en un clima estrictamente estacional en cuanto a las lluvias (Pérez, 2011).

Frutos abiertos de caobo con semillas ya visibles.

Vive entre 0 a 1500 msnm, con rangos de temperatura mínima de 11 °C a máxima de 32 °C, con precipitaciones de 1200 a 4000 mm, con suelos profundos, bien drenados, franco arcillosos o franco arenosos, soportando ligeramente alcalinidad con tendencia hacia la neutralidad. Exige luz pero tolera la sombra en su etapa juvenil, lo cual se debe a que se desarrolla en zonas con numerosas especies de árboles de gran tamaño, por lo que en los primeros años de su vida tiene que crecer a pesar de que los demás árboles le limitan la cantidad de insolación hasta que alcanza una altura suficiente como para descollar entre los demás árboles. Más aún: cuando en su juventud tienen una insolación suficiente, no crecen tanto como si se ven obligados a crecer para obtener una insolación abundante. Este fenómeno puede comprobarse cuando se siembran caobos en calles con edificios altos: los caobos crecerán hasta destacarse a un nivel superior, en comparación con otros caobos sembrados al mismo tiempo en la misma zona, pero en un lugar mucho más abierto y sin árboles o edificios. En una plantación de caobos (como sucede en el parque de Los Caobos en Caracas) alcanzan gran altura porque han tenido que competir entre sí por la luz solar. Su óptimo desarrollo se presenta, en Venezuela, en las selvas de

galería de los Llanos occidentales, desde el estado Cojedes hasta el de Barinas (Pérez, 2011).

Taxonomía

Swietenia macrophylla fue descrita por George King y publicado en Hooker's Icones Plantarum 16: t. 1550. 1886.

Etimología

Swietenia: nombre genérico otorgado en honor del médico Gerard van *Swietenia macrophylla:* epíteto latino que significa "con hojas grandes".

Sinonimia

Swietenia candollei Pittier 1920
Swietenia tessmannii Harms
Swietenia krukovii Gleason
Swietenia belizensis Lundell
Swietenia macrophylla var. *marabaensis Ledoux & Lobato*

2.2.2. Descripción de la Marupa

Son árboles o arbustos, que alcanzan un tamaño de 3–30 m de alto; plantas dioicas. Las hojas imparipinnadas, de 10–30 cm de largo, con 6–18 folíolos, obovados, de 3–9 cm de largo y 1–3 cm de ancho, redondeados a emarginados en el ápice, acuminados a agudos en la base, generalmente verde obscuros o verde olivos en la haz, amarillo-verdosos y más claros en el envés. Las panículas de 10–30 cm de largo, flores unisexuales, sépalos 5, 1 mm de largo, verdes o verde olivos; pétalos 5, 4–7 mm de largo, generalmente amarillos pero frecuentemente con matices verdes o rojos; estambres 10, filamentos 1–2.5 mm de largo, con un apéndice en la base, anteras 1–1.5 mm de largo, muy reducidas en las flores pistiladas; gineceo 5-carpelar y 5-locular, estigmas libres. Drupas 1–5, comprimidas, elíptico-lenticulares, 1.5–2 cm de largo y 1–1.5 cm de ancho, anaranjadas o rojas al madurarse (Pérez, 2011).

Distribución y hábitat

Común en lugares abiertos y bosques caducifolios, zonas del pacífica y atlántica a una altitud de 0–500 metros; desde Belice a Brasil y en las Antillas. Existen dos formas de esta especie: una que corresponde al tipo de S. amara y es un árbol grande de bosques, con pétalos y anteras más pequeños; y la otra forma, típica de ambientes abiertos, es un árbol más pequeño, con pétalos y anteras ligeramente más grandes y es representativo del taxón llamado S. glauca. La dificultad de asignar todos los especímenes a una de estas dos especies descritas además de la existencia de numerosas formas intermedias, son argumentos para unir estos nombres bajo una sola especie (Pérez, 2011).

Usos

Sus semillas producen un aceite comestible. El árbol es muy adecuado para el clima cálido y las regiones tropicales húmedas. Su cultivo depende de la distribución de las precipitaciones, la capacidad de retención de agua del suelo y la humedad del subsuelo. Es adecuado para temperaturas de 10 a 40 ° C. Puede crecer a alturas desde el nivel del mar a 1.000 m. Alcanza un tamaño de 12 a 15 m de altura y tiene una envergadura de 7.6 a 9.1 m. Tiene flores de color amarillo y la fruta carnosa forma de óvalo alargado de color púrpura (Pérez, 2011).

Cultivo

Puede propagarse por semillas, injertos y cultivo de tejidos tecnológicos. Los frutos se recogen en el mes de abril / mayo, cuando están maduras y se secan al sol durante una semana. La piel se separa y se cultivan dichas semillas en bolsas de plástico para producir plantines, a los 2 - 3 meses de edad los árboles jóvenes puede ser trasplantado a una plantación (Pérez, 2011).

Impacto ambiental

El árbol forma un bien desarrollado sistema de raíces y follaje siempre verde denso que controla de manera eficiente la erosión del suelo, es compatible con la vida microbiana del suelo, y mejora la posición de las aguas subterráneas. Además de la conversión de energía solar en energía bioquímica durante todo el año, se comprueba el

sobrecalentamiento de la superficie del suelo durante todo el año y especialmente durante el verano. La plantación a gran escala en terrenos baldíos facilita la recuperación de tierras baldías, convierte la acumulación atmosférica de dióxido de carbono en oxígeno y contribuye a la reducción del efecto invernadero o calentamiento global (Pérez, 2011).

Propiedades

Del aceituno: se utilizan las hojas, la corteza y raíz. Otros nombres populares, en Guatemala: Jocote de mico, Negrito; Olivo; Pasac.

La infusión de corteza y raíz se usa para tratar la malaria, afecciones gastrointestinales (diarrea, dispepsia atónica, debilidad, amebiasis, lombrices, tricocéfalos, vómito), nerviosismo, fiebres intermitentes, tos. La tintura de hojas tiene actividad antiamebiana. Las hojas machacadas se aplican tópicamente para el tratamiento de afecciones cutáneas y algunas formas de cáncer (Pérez, 2011).

Taxonomía

Simarouba amara fue descrita por Jean Baptiste Christophore Fusée Aublet y publicado en Histoire des Plantes de la Guiane Françoise 2: 860–861, pl. 331–332, en el año 1775.

Sinonimia

Simarouba amara var. opaca Engl.
Simarouba amara var. typica Cronquist
Simarouba glauca DC.
Simarouba glauca var. latifolia Cronquist
Simarouba opaca (Engl.) Radlk. ex Engl.
Zwingera amara (Aubl.) Willd.

2.2.3. Descripción de la Capirona

Aspectos Taxonómicos

Reino: Vegetal
División: Fanerógama
Subdivisión: Angiosperma
Clase: Dicotiledónea
Familia: Rubiaceae
Género: Calycophyllum
Especie: Calycophyllum spruceanum Benth.
Nombre común: Capirona, capirona de bajo, capirona negra

Distribución y hábitat

Calycophyllum spruceanum se considera una especie pionera en la sucesión de la planicie aluvial de Perú, Brasil, Ecuador y Colombia. La especie se encuentra en toda la Amazonía Peruana, hasta los 1 000 m.s.n.m.; la dispersión de la semilla puede ser por diversos vectores, no estando relacionada por los cursos de agua Se encuentra tanto en bosque primario como el bosque clímax. Es una especie heliofita, frecuente también en bosques secundarios, pioneros o tardíos, en suelos limosos a arcillosos, aluviales y fértiles. Colectas de semilla se han llevado a cabo en forma intensiva por parte del Centro Mundial para la Agroforestería - ICRAF principalmente en la zona aluvial, en los departamentos de Loreto y Ucayali, siendo las más adecuadas para las plantaciones aquellas de las procedencias locales. Se trata de un árbol característico en bosques ribereños temporalmente inundables por aguas claras. Se encuentra en áreas temporalmente inundables y en zonas ribereñas, tolera la pedregosidad elevada (Pérez, 2011).

Descripción Dendrológica

Presenta un fuste recto, cilíndrico, con una altura total aproximada de 40 m.; una altura comercial de 25 m. y un diámetro que puede llegar hasta los 0.90 m. Presenta una corteza externa con ritidoma delgado que se desprende en láminas anchas y coriáceas,

dejando al descubierto una corteza lisa de color verde botella. La corteza interna es cremosa, de textura suave (Pérez, 2011).

2.2.4. Descripción del Limón

Es un pequeño árbol frutal perenne que puede alcanzar más de 4 m de altura. Su fruto es el limón una fruta comestible de sabor ácido y extremadamente fragante que se usa en la alimentación. El limonero posee una madera con corteza lisa y madera dura y amarillenta muy apreciada para trabajos de ebanistería. Botánicamente, es una especie híbrida entre *C. medica* (cidro o limón francés) y *C. aurantium* (naranjo amargo). Aunque otros autores creen que es el resultado de diversos retrocruces entre *Citrus medica y Citrus* × *aurantiifolia* (Pérez, 2011).

Descripción

Forma una copa abierta con gran profusión de ramas, sus hojas son elípticas, coriáceas de color verde mate lustroso (5–10 cm), terminadas en punta y con bordes ondulados o finamente dentados. En las ramas presenta espinas cortas y gruesas (Pérez, 2011).

Sus flores, comúnmente llamadas (al igual que las del naranjo) azahares o flores de azahar, presentan gruesos pétalos blancos teñidos de rosa o violáceo en la parte externa, con numerosos estambres (20–40). Surgen aislados o formando pares a partir de yemas rojizas (Pérez, 2011).

Distribución

El limón es originario de Asia y fue desconocido por griegos y romanos, siendo mencionado por primera vez en el libro sobre agricultura Nabathae hacia el siglo III o IV. Su cultivo no fue desarrollado en occidente hasta después de la conquista árabe de España, extendiéndose entonces por todo el litoral mediterráneo donde se cultiva profusamente, debido a la benignidad del clima, para consumo interno y de exportación (Pérez, 2011).

Sinonimia

Citrus limonum Risso
Citrus medica subsp. limonum (Risso) Wight & Arn.
Citrus medica var. limonum (Risso) Lilja
Citrus medica var. limon L.
(http://es.wikipedia.org/wiki/Citrus_%C3%97_limon)

2.3. MARCO LEGAL.

2.3.1. Protocolo de Kyoto

Dicho protocolo, firmado en 1997 en Kyoto tiene como objetivo que los países desarrollados de reduzcan en promedio 5.2% de las emisiones de GEI con respecto a las emitidas en 1990, el primer periodo de compromiso está fijado entre los años 2008 y 2012. Dentro de las herramientas propuestas en el protocolo de Kyoto se encuentra el mecanismo de desarrollo Limpio (MDL) , este permite a países desarrollados invertir en proyectos en países en vías de desarrollo , que mitiguen o capturen gases invernadero , esto se lograría a través de la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CER's).

El propósito del MDL es ayudar a los países en desarrollo a lograr un desarrollo sostenible, así como ayudar a los países con metas de reducción a cumplir con sus compromisos. Se estableció que el compromiso sería de obligatorio cumplimiento cuando lo ratificasen los países industrializados responsables de, al menos, un 55% de las emisiones de CO2. Con la ratificación de Rusia en Noviembre de 2004, después de conseguir que la UE pague la reconversión industrial, así como la modernización de sus instalaciones, en especial las petroleras, el protocolo ha entrado en vigor.

Además del cumplimiento que estos países hicieron en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero se promovió también la generación de un desarrollo sostenible, de tal forma que se utilice también energías no convencionales y así disminuya el calentamiento global.

El gobierno de Estados Unidos firmó el acuerdo pero no lo ratificó, por lo que su adhesión sólo fue simbólica hasta el año 2001 en el cual el gobierno de Bush se retiró del protocolo, no porque no compartiese su idea de fondo de reducir las emisiones, sino porque considera que la aplicación del Protocolo es ineficiente e injusta al involucrar solo a los países industrializados y excluir de las restricciones a algunos de los mayores emisores de gases en vías de desarrollo (China e India en particular), lo cual considera que perjudicaría gravemente la economía estadounidense.

2.3.2. Ley Nº 27308 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre, DS N° 014-2001-AG.

Según la legislación forestal del Perú se reconoce los servicios ambientales del bosque, la implementación de esquemas de indemnización, los medios de asignación de recursos y la promoción de la gestión de estos servicios.

Con respecto a dichos servicios la Ley Nº 27308 en su Art. 2.3 define y enuncia los servicios ambientales del bosque:

- *Absorción de Dióxido de Carbono.*
- *Regulación del Agua.*
- *Conservación de la Diversidad Biológica.*
- *Protección del Suelo.*
- *Conservación de Ecosistemas.*
- *Belleza Escénica.*

En el Art. 35.4 determina el concepto de indemnización por estos servicios, los medios de asignación de recursos y la promoción de la gestión de estos servicios.

En el Art. 282 del Reglamento determina que el Ministerio de Agricultura es el encargado de establecer los mecanismos para el mantenimiento de estos servicios.

Asimismo el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) es una institución de derecho privado, sin fines de lucro y de interés público y social, creada por el Congreso de la República del Perú, mediante *Ley Nº 26793* del año 1997, destinada a promover la inversión pública y privada en el desarrollo de planes, programas, proyectos y actividades orientadas al mejoramiento de la calidad ambiental, el uso sostenible de los

recursos naturales, y el fortalecimiento de las capacidades para una adecuada gestión ambiental.

El FONAM es reconocido por el PCF (Fondo Prototipo de Carbono del Banco Mundial) como el Punto Focal de sus actividades en el Perú, en lo referente a la identificación, calificación y manejo de proyectos que puedan ser presentados ante el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para la obtención de Certificados de Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero (CER´s).

Por este motivo se crean estructuras de mercado intermediarias de proyectos sobre temas de servicios ambientales, en este caso trataremos el caso específico de la captura de carbono, a través de la Política del Estado y de fondos creados por el Estado y otras instituciones como el Banco Mundial, etc.

2.4. MERCADO DEL CARBONO

En el *Protocolo de Kyoto* también se establecieron los mecanismos que facilitarían el cumplimiento de las reducciones de emisiones de GEI en los países industrializados (partes del anexo I) de un modo costo-efectivo. Estos mecanismos son: 1) Comercio de Emisiones (CE), 2) Implementación Conjunta (IC) y 3) Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

2.4.1. Certificado de emisiones (CE)

Este mecanismo permite la transferencia de reducciones de Carbono “no usadas”, entre países industrializados que tengan sus derechos de emisión por debajo de los límites permitidos, con aquellos que han excedido sus niveles en un período de cumplimiento dado. Las unidades de venta se denominan Assigned Amount Units (AAU’s por sus siglas en inglés). (Castro *et al*., 2002).

2.4.2. Implementación Conjunta (IC)

Como su nombre lo indica, este mecanismo permite la reducción de emisiones de Carbono de manera conjunta entre los países del anexo I. En este caso, se acreditan unidades de reducción de emisiones a favor del o los países que financian proyectos de

mitigación de cambio climático. Las unidades de venta se denominan Emission Reduction Units, ERU's por sus siglas en inglés (UNFCCC, 2005).

2.5. ACTUALIDAD SOBRE EVENTOS, PRECIOS Y PROYECTOS

2.5.1. Eventos

En Sao Paulo, Brasil, entre los días 16 y 17 de Octubre 2006 se llevó a cabo el VII Seminario Regional Forestal Latinoamericano "MDL Forestal en América Latina" este encuentro, que contó con representantes de América del Centro y del Sur, así como de organismos internacionales, tuvo como tema central discutir los diferentes avances en *el proceso metodológico* en los proyectos MDL forestales y en la deforestación evitada. Con estas reuniones se busca fortalecer la posición de Latinoamérica en las negociaciones internacionales sobre cambio climático y MDL forestal. A la fecha existen 7 metodologías aprobadas de: China, Albania, Moldavia, entre otras, estas metodologías especifican como se monitoreara la ejecución del proyecto así como qué metodologías y fórmulas se utilizaran para la cuantificación de biomasa de carbono fijado cada año (FONAM, 2007).

Así mismo el 19 de Septiembre del 2006 se llevó a cabo la segunda reunión del Grupo Técnico para la Definición de Bosques en el Marco del Protocolo de Kyoto y el MDL. En dicha reunión se establecieron los valores finales para la definición país los cuales, próximamente, La Autoridad Nacional Designada (CONAM) remitirá al INRENA para su oficialización. La definición acordada para bosques es la siguiente: "Tierras con una cubierta de copa arbórea de más del 30 por ciento del área y un área mínima de 0,5 ha (ha). Los árboles deben poder alcanzar una altura mínima de 5 metros (m) a su madurez in situ (FONAM, 2007).

2.5.2. Precios y mercado actual de proyectos de Captura de carbono

El total del mercado es de US$ 92´344.370 dólares. El mercado a través de la Implementación Conjunta (IC) del Protocolo de Kyoto: asciende a US$ 7´630.000, con un total de 13´077.132 toneladas [$0.58.T], actualmente se han realizado 24 transacciones en este marco, las cuales representan 136.862 hectáreas (338.194 acres). Los proyectos para este mercado se deben preparar pronto, pues el MDL sólo los

reconoce para el primer periodo de compromiso, que va del 2008 al 2012, estos proyectos pueden tardar en implementarse entre 2 y 3 años. El precio por tonelada de carbono fijada esta valorizada en US$ 4.30 dólares por hectárea al año, según la bolsa de valores.

2.5.3. Mercados voluntarios:

Consisten en un número de diversos mercados de carbono, incluyendo varios esquemas reguladores. Como piloto para la captura de gases de efecto invernadero, el **CCX – Chicago Climate Exchange** (190 South LaSalle Street, Chicago, Illinois, USA), funcionó del 2003 al 2006, actualmente le tomó la posta **Oregon – Estados Unidos y New South Wales NSW Australia**, dada la carencia de compromiso de estos países frente a la iniciativa del PK y la falta de la actividad de la legislación de gases de efecto invernadero, un número de esquemas reguladores del estado-conducidos han emergido en torno a los gases de efecto invernadero. Dos de los más prominentes de éstos son el esquema de la disminución de NSW de Australia (cubierto por separado por MarketWatch) y el estándar del CO_2 de Oregon, que generan un gran impacto a nivel de estos gobiernos. Europa (Esquema de comercio de emisiones de la Unión Europea - **European Union Emissions Trading Écheme** - **EU ETS)** como se puede apreciar en el Cuadro Nº 1, no invierte comprar actualmente créditos de carbono provenientes de proyectos forestales debido a los grandes riesgos que avizoran causados por pronósticos de menor humedad y posibles incendios forestales para la amazonia básicamente. La ventaja de este mercado es que tiene tendencia a crecer la desventaja es que con precios más bajos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Equipos y Materiales

3.1.1. Equipos

- GPS.
- Balanza de 10 Kg. de capacidad.
- Lap top. Marca hp. Modelo 550.
- Impresora multifuncional. Marca Canon. Modelo MG2110.
- Camioneta 4 x 4. Marca TOYOTA. Modelo HI LUX 2.4.
- Cámara digital. Marca Panasonic.

3.2. Metodología.

3.2.1. Ámbito.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en parcelas manejadas con técnicas agroforestales de *Simarouba amara* “marupa” y *Swietenia macrophylla* “caoba” establecidos en el Centro De Investigación, Enseñanza Y Producción Agroforestal, CEPIAGRI, ubicado al oeste de la ciudad de Yurimaguas, distrito del mismo nombre, en la provincia de alto Amazonas, departamento de Loreto.

3.2.2. Tipo de investigación

Dado la realidad de las especies sembradas en diferentes densidades, con diferentes edades y asociaciones, el trabajo de investigación fue del tipo no experimental de tipo seccional. Lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos (Hernández *et al*., 1998), donde se detallan las características de las especies, características ambientales y factores socioeconómicos dentro del sector, con la finalidad de estimar su valor económico y ambiental del potencial de captura de carbono, considerando especialmente las características de las especies *Simarouba amara* “marupa y *Swietenia macrophylla* “caoba”.

3.2.3. Diseño de investigación

En función al tipo de investigación se adaptó un diseño completamente al azar de carácter no experimental completamente al azar en campo, con 04 tratamientos y 02 testigos y 20 observaciones por tratamientos. Se utilizó en Software estadístico SPSS 19 el cual utiliza el P-valor para determinar diferencias significativas a P<0,01 y P<0,05 y la prueba rangos múltiples de Duncan para determinar diferencias significativas al 95% (P<0,05) entre promedios de tratamientos.

Los tratamientos estudiados fueron:

T1: Marupa (2 años)
T2: Caoba (5 años)
T3: Marupa-caoba (2: 6 años)
T4: Marupa-caoba (5 años)
T5: Capirona-estoraque (5años)
T6: Capirona-limón (6: 10 años).

3.2.4. Método de análisis de datos

- **Fuentes de información**

La información se obtuvo de fuentes primarias y secundarias. La información primaria, se refiere a los valores numéricos de las medidas del diámetro de los árboles estudiados. La información secundaria, se refiere a la revisión de bibliografía referente o similar a esta materia.

- **Manejo del experimento**

Seleccionados los Sistemas agroforestales, se procedió a realizar el inventario forestal y la recolección de datos, dependiendo del sistema de uso de la tierra a ser evaluado, siguiendo la metodología desarrollada por Alegre *et al.,* (2000), para condiciones similares y que se detallan a continuación:

Biomasa Arbórea

Se identificaron las parcelas y las especies por parcela midiéndoles el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles vivos parados.

Debe nominarse además en todos los casos: los nombres locales de cada árbol, si es ramificado (R), o no (NR), índice de densidad de la madera de la especie (alta: 0,6 media: 0,4 o baja: 0,2), si es palmera (P) o liana (L).

Siguiendo las fórmulas a utilizar, propuesta por Alegre (2000), se procedió a calcular la Biomasa Arbórea Viva, aplicando la siguiente fórmula:

Cálculo de Biomasa vegetal (BA)

BA = 0.1184 DAP ^ 2.53
DAP = Diámetro a la altura del pecho
0.1184 y 2.53 = constantes

El cálculo del contenido de carbono en la biomasa vegetal, se realizó aplicando la siguiente formula:

CC = BA x 0.45
BA = Biomasa vegetal

3.2.5. Valoración económica de la captura de carbono

Se comparó el costo asignado del servicio ambiental con la información internacional de los mercados vigentes y con el costo asignado por instancias nacionales, a fin de hacer un comparativo de los costos que se pueden devengar por este servicio ambiental.

3.2.6. Población y muestra

3.2.6.1. Población

La población fue considerada del Centro de Investigación, Enseñanza y Producción Agroforestal Yurimaguas, CEPIAGRY la cual cuenta con una población de 500

individuos de diferentes edades de ***Swietenia macrophylla*** “caoba” y 1000 individuos de diferentes edades de **Simarouba amara** “marupa” establecidos en sistemas agroforestales.

3.2.6.2. Muestra

La muestra fue representativa, aleatoria y estratificada, considerando cuatro transeptos de 4 m de ancho x 25 m de largo con evaluaciones al 100% de todos los componentes establecidos en el área de muestreo y tomando una submuestra de 20 individuos al azar por especie en cada uno de los subsistemas productivos.

3.2.7. Variables.

Las variables que se evaluaron fueron:

- Diámetro a la altura del pecho (DAP) para todas las especies.
- Biomasa y contenido de carbono en las especies arbórea viva por especie y en cada tipo de asociación productiva
- Además se extrajeron muestras de los suelos a una profundidad de 0 a 20 cm donde fueron establecidos los sistemas agroforestales, para ser remitidos y analizados en el laboratorio especializado de análisis de suelos de la Facultad de Cs. Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

3.2.8. Conducción del experimento.

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación, Enseñanza y Producción Agroforestal Yurimaguas, CEPIAGRY. El cual cuenta con cinco (05) hectáreas de sistemas agroforestales de diversas especies, entre ellas *Simarouba amara* “marupa” y *Swietenia macrophylla* “caoba”. Los individuos de estas especies tienen diferentes edades.

Se identificaron las parcelas establecidas con diferentes asociaciones y edades de *Simarouba amara* “marupa y *Swietenia macrophylla* “caoba. Posterior a ello, se designaron al azar 20 individuos por especie a ser evaluados, a quiénes se evaluaron

el diámetro a la altura del pecho (DAP) aplicando la fórmula de BA = 0.1184 DAP ^ 2.53 propuesta por Alegre (2000) para obtener la Biomasa aérea por especie.

La biomasa aérea obtenida por especie se multiplicó por 0,45 (valor constante por convención) para determinar el contenido de Carbono por árbol, el C total en $T.ha^{-1}$, CO_2 en $T.ha^{-1}$.

La metodología de evaluación que se utilizó fue desarrollada por el ICRAF siguiendo los procedimientos del Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra (Arévalo *et al.,* 2003). Esta metodología se basa en la determinación de la biomasa total mediante el uso de ecuaciones alométricas si son árboles y en la toma de muestras en forma distributiva del sotobosque, cultivos, pastos etc. así como la hojarasca (Arévalo *et al.,* 2003).

Es importante destacar que en el marco de la ecuación de la fotosíntesis se calculó también los Kg de $agua.ha^{-1}$ utilizada para fijar CO_2 y O2 liberado en $Kg.ha^{-1}$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Del diámetro a la altura del Pecho (DAP)

F.V.	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	Sig. Del P-valor
Tratamientos	206,237	5	41,247	6,363	0,000 **
Error experimental	739,007	114	6,483		
Total	945,244	119			

R^2 = 21,8% C.V.= 42,1% Promedio = 6,04

Cuadro 1: Análisis de varianza para el Diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros

El análisis de varianza (cuadro 1) ha detectado diferencias altamente significativas (P>0,01) para la fuente de variabilidad Tratamientos. Los valores del Coeficiente de Determinación (R^2) con 21,8% y del C.V.= 42,1% determinaron una alta variabilidad para la información obtenida del diámetro a la altura del pecho (DAP) debiéndose estos resultados a la naturaleza del crecimiento y desarrollo de las especies *Simarouba amara* "Marupa y *Swietenia macrophylla* "Caoba" en función a la edad, densidad de plantas por unidad de área, asociación con otras especies y características de fertilidad natural del suelo.

La prueba de rangos múltiples de Duncan (gráfico 3) con los promedios ordenados de menor a mayor también ha detectado diferencias significativas (P<0,05) entre los promedios de tratamientos, siendo que el Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio con 8,87 cm de diámetro a la altura del pecho superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T2 (T2: Caoba - 5 años) T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T1 (Marupa – 2 años), T6 (Capirona-limón) y T3 (Marupa-caoba – 6 años) quienes reportaron promedios de 5,98 cm, 5,88 cm, 5,21 cm 5,19 cm y 5,10 cm de diámetro a la altura del pecho respectivamente.

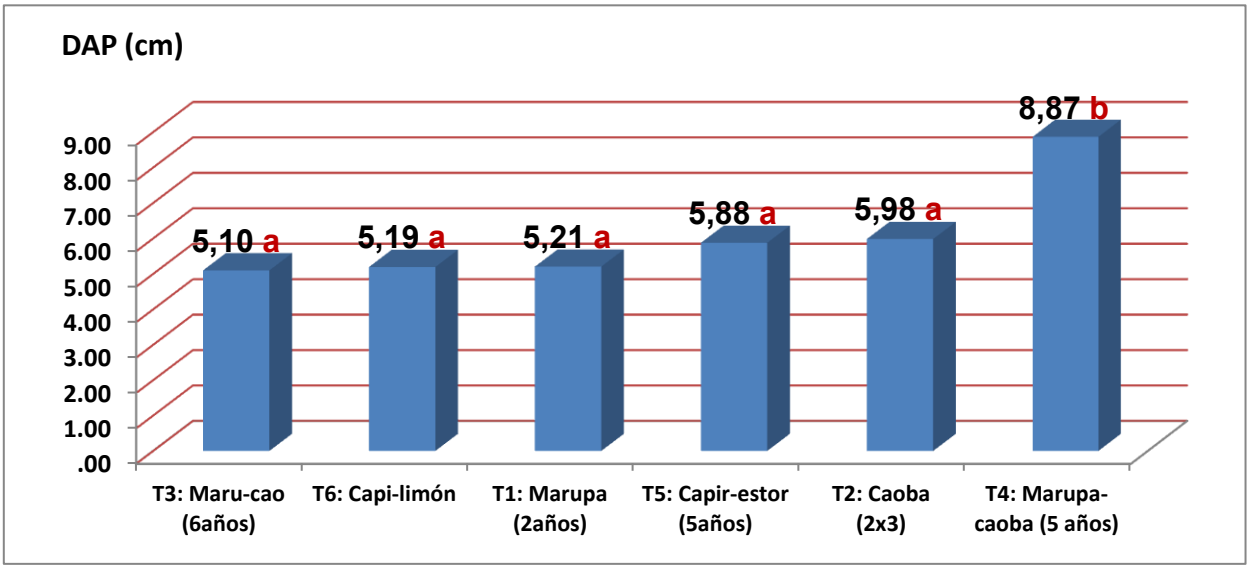

Gráfico 3: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al DAP

4.2. Del Contenido de C.Kg.árbol^{-1}

F.V.	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	Sig. Del P-valor
Tratamientos	4109,079	5	821,816	10,466	0,000 **
Error experimental	8951,934	114	78,526		
Total	13061,013	119			

R^2 = 31,5% C.V.= 120.5% Promedio = 7,35

Cuadro 2: Análisis de varianza para el Contenido de C.Kg.árbol^{-1}

El análisis de varianza (cuadro 2) detectó diferencias altamente significativas (P>0,01) para la fuente de variabilidad Tratamientos. Los valores del Coeficiente de Determinación (R2) con 31,8% y del C.V.= 120,5% determinaron una alta variabilidad para la información obtenida del Contenido de C.Kg.árbol^{-1} debiéndose estos resultados a la naturaleza del crecimiento y desarrollo de las especies *Simarouba amara* "Marupa y *Swietenia macrophylla* "Caoba" en función a la edad, densidad de plantas por unidad de área, asociación con otras especies y características de fertilidad natural del suelo.

La prueba de rangos múltiples de Duncan (gráfico 4) con los promedios ordenados de menor a mayor también ha detectado diferencias significativas (P<0,05) entre los

promedios de tratamientos, siendo que el Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio con 20,32 Kg/árbol de C superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T2 (T2: Caoba - 5 años), T3 (Marupa-caoba – 6 años), T6 (Capirona-limón), T1 (Marupa - 2años), y quienes reportaron promedios de 6,12 Kg/árbol, 5,1 Kg/árbol, 4,85 Kg/árbol, 4,02 Kg/árbol y 3,69 Kg/árbol respectivamente.

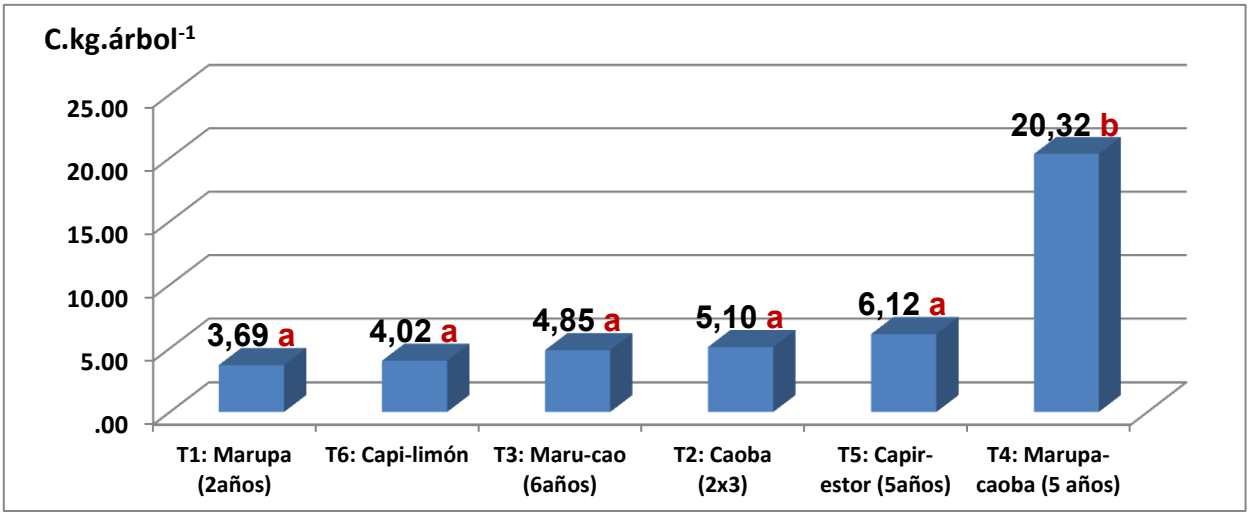

Gráfico 4: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al Contenido de C.Kg.árbol^{-1}

Se evidencia que el diámetro a la altura del pecho fue una función de la edad y la densidad de plantas por unidad de área, tal como se muestra en el cuadro 3, donde la variación se puede observar en el caso de Caoba quién reportó un DAP de 5,1 cm a una densidad de 1666 Plantas.ha^{-1}, 7,33 a una densidad de 625 Plantas.ha^{-1} en asociación con Marupa quién reportó un DAP de 2,87 cm con 6 años de edad y Caoba con 4,46 cm de DAP en una densidad de 400 Plantas.ha^{-1} en asociación con Marupa quién reportó un DAP de 4,46 cm con 5 años de edad respectivamente. También es preciso indicar que el crecimiento y desarrollo de las plantas está en función a la fertilidad natural de los suelos, tal como se puede observar en los resultados de análisis de suelo para cada uno de los tratamientos.

Tratamiento	Diámetro (cm)				
	Caoba	Marupa	Capirona	Estoraque	Limón
T1: Marupa (2años) (2000 P.ha)		3,69			
T2: Caoba (5 años) (1666 P.ha)	5,10				
T3: Marupa-caoba (6años) (2500 - 625 P.ha)	7,33	2,87			
T4: Marupa-caoba (5 años) (1600 - 400 P.ha)	4,46	13,27			
T5: Capirona-estoraque (5años) (2000 - 333 P.ha)			7,39	4,36	
T6: Capirona-limón (2000 P/ha - 417 P.ha)			5,58		4,81

Cuadro 3: Diámetro a la altura del pecho para todas las especies en diferentes densidades poblacionales

4.3. Del Contenido de C.T.ha^{-1}

F.V.	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	Sig. Del P-valor
Tratamientos	11405,723	5	2281,145	10,466	0,000 **
Error experimental	24847,223	114	217,958		
Total	36252,946	119			

R^2 = 31,5% C.V.= 120,6% Promedio = 12,24

Cuadro 4: Análisis de varianza para el Contenido de C.T.ha^{-1}

El análisis de varianza (cuadro 4) ha detectado diferencias altamente significativas (P>0,01) para la fuente de variabilidad Tratamientos. Los valores del Coeficiente de Determinación (R2) con 31,5% y del C.V.= 120,6% determinaron una alta variabilidad para la información obtenida del Contenido de C.T.ha^{-1} debiéndose estos resultados a la naturaleza del crecimiento y desarrollo de las especies *Simarouba amara* "Marupa y *Swietenia macrophylla* "Caoba" en función a la edad, densidad de plantas por unidad de área, asociación con otras especies y características de fertilidad natural del suelo.

La prueba de rangos múltiples de Duncan (gráfico 5) con los promedios ordenados de menor a mayor también ha detectado diferencias significativas (P<0,05) entre los

promedios de tratamientos, siendo que el Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio con 33,5 $T.ha^{-1}$ de C superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T2 (T2: Caoba - 5 años), T3 (Marupa-caoba – 6 años), T6 (Capirona-limón), T1 (Marupa – 2 años), y quienes reportaron promedios de 10,19 $T.ha^{-1}$, 8,5 $T.ha^{-1}$, 8,09 $T.ha^{-1}$, 6,69 $T.ha^{-1}$ y 6,14 $T.ha^{-1}$ de C respectivamente.

Los bosques naturales son principalmente secuestradores de dióxido de carbono, pero existen otras alternativas de uso de tierra como los sistemas agroforestales o la reforestación planificada, incluyendo sistemas agrosilvopastoriles; que pueden secuestrar en promedio de 95 toneladas de carbono por hectárea en quince años, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 hectáreas manejadas con sistemas tradicionales. El contenido de C está en función a su heterogeneidad, condiciones de clima y suelo. Se asume que el 45% de la biomasa seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono almacenado que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar de 150 y 382 $T.ha^{-1}$, por lo tanto el carbono almacenado varía entre 67,5 a 171 $T.ha^{-1}$ (Alegre *et al*., 2001).

Las reservas de carbono total en la biomasa y en el suelo en diferentes sistemas de uso de tierras en Yurimaguas y en Pucallpa., reportado por *(*Alegre *et al.* 2001), indican que la foresta y los barbechos antiguos tuvieron los contenidos más altos de C en ambos sitios. El barbecho natural comparado con los barbechos de ciclos cortos aumentó ligeramente el contenido de C con el tiempo. El nivel de C de la biomasa en todos los sistemas manejados fue más bajo que el de los bosques naturales. Sin embargo, entre los sistemas manejados el contenido de C en los sistemas perennes con árboles fue más alto y fluctuó desde 63 $T.ha^{-1}$ para la plantación de amburana, hasta 99 $T.ha^{-1}$ para la plantación de Marupa.

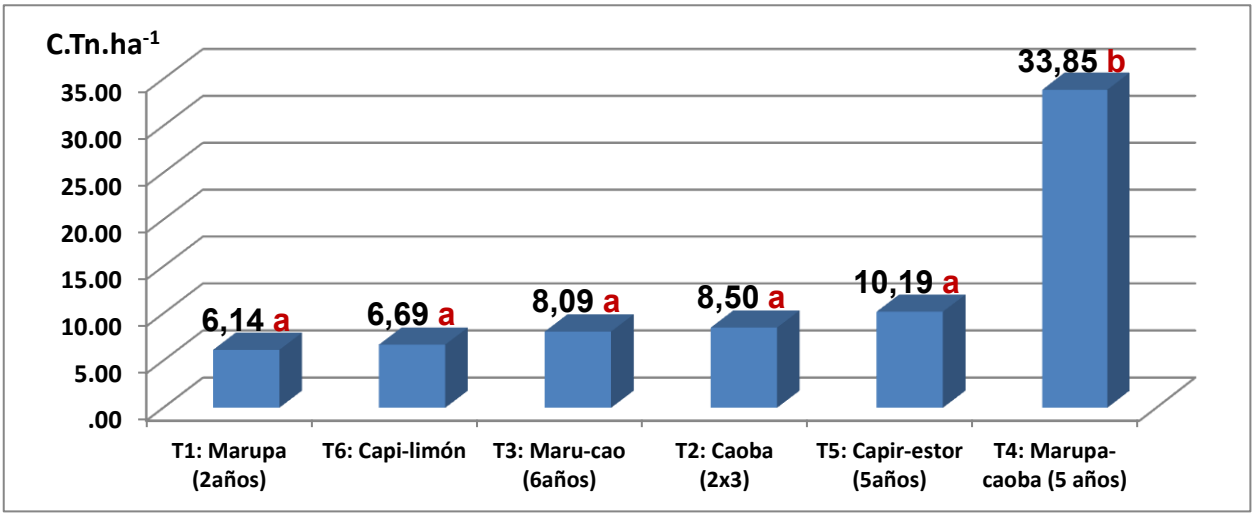

Gráfico 5: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al Contenido de C.T.ha^{-1}

4.4. Del CO_2.T.ha^{-1}

F.V.	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	Sig. Del P-valor
Tratamientos	848,523	5	169,705	10,468	0,000 **
Error experimental	1848,187	114	16,212		
Total	2696,710	119			

R^2 = 31,5% C.V.= 120,5% Promedio = 3,34

Cuadro 5: Análisis de varianza para el CO_2.T.ha^{-1}

El análisis de varianza (cuadro 5) ha detectado diferencias altamente significativas (P>0,01) para la fuente de variabilidad Tratamientos. Los valores del Coeficiente de Determinación (R^2) con 31,5% y del C.V.= 120,6% determinaron una alta variabilidad para la información obtenida del Contenido de CO_2.T.ha^{-1} debiéndose estos resultados a la naturaleza del crecimiento y desarrollo de las especies *Simarouba amara* "Marupa y *Swietenia macrophylla* "Caoba" en función a la edad, densidad de plantas por unidad de área, asociación con otras especies y características de fertilidad natural del suelo.

La prueba de rangos múltiples de Duncan (gráfico 6) con los promedios ordenados de menor a mayor también ha detectado diferencias significativas (P<0,05) entre los promedios de tratamientos, siendo que el Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio con 9,23 $T.ha^{-1}$ de CO_2 superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T2 (T2: Caoba - 5 años), T3 (Marupa-caoba – 6 años), T6 (Capirona-limón), T1 (Marupa - 2años), y quienes reportaron promedios de 2,78 $T.ha^{-1}$, 2,32 $T.ha^{-1}$, 2,21 $T.ha^{-1}$, 1,83 $T.ha^{-1}$ y 1,68 $T.ha^{-1}$ de CO_2 respectivamente.

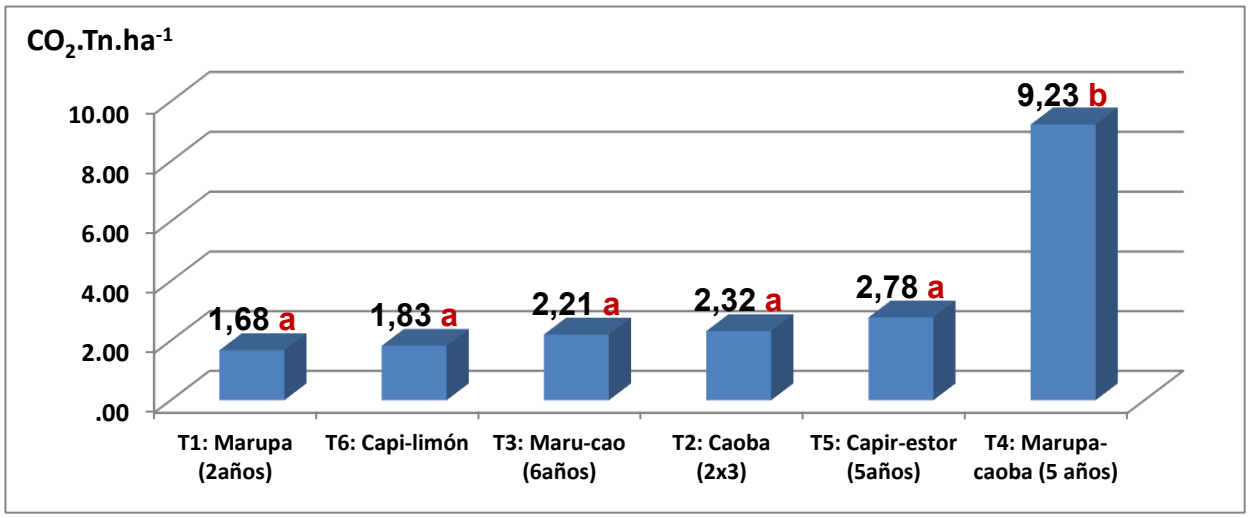

Gráfico 6: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al Contenido de $CO_2.T.ha^{-1}$

Reinders *et al.* (2003), manifiestan sobre los resultados de un proyecto desarrollado con el Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva Alta (CEDISA) donde se establecieron 295 has de sistemas agroforestales diversificados en la Cuenca del Cumbaza, estimando fijar un total de 309.750 T de CO_2 durante un período de 15 años, así mismo, manifiestan que una hectárea fija 70 T de $CO_2.año^{-1}$ la misma que equivale a la emisión que genera un avión en 7 vuelos de Tarapoto a Lima o la emisión de CO_2 de 63 viajes de un camión de Tarapoto a Líma.

4.5. Del $H_2O.ha^{-1}$ utilizada para fijar CO_2

F.V.	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	Sig. Del P-valor
Tratamientos	5,116E7	5	1,023E7	10,466	0,000 **
Error experimental	1,114E8	114	977558,830		
Total	1,626E8	119			

R^2 = 31,5% C.V.= 120,5% Promedio = 819,93

Cuadro 6: Análisis de varianza para el Kg de $H_2O.ha^{-1}$ utilizada para fijar CO_2

El análisis de varianza (cuadro 6) ha detectado diferencias altamente significativas (P>0,01) para la fuente de variabilidad Tratamientos. Los valores del Coeficiente de Determinación (R2) con 31,5% y del C.V.= 120,6% determinaron una alta variabilidad para la información obtenida del Contenido de Agua (H_2O) utilizada en $T.ha^{-1}$ para fijar CO_2 debiéndose estos resultados a la naturaleza del crecimiento y desarrollo de las especies *Simarouba amara* "Marupa y *Swietenia macrophylla* "Caoba" en función a la edad, densidad de plantas por unidad de área, asociación con otras especies y características de fertilidad natural del suelo. En base a la ecuación de la fotosíntesis para fijar un mol de CO_2 se utilizan 2,44 moles de agua (Pinto, 1984) y este cálculo se sustenta en el Peso molecular de cada compuesto 44g para un mol de CO_2 y 18 g para un mol de H_2O, hecho que sustenta que la fotosíntesis como proceso vital para la fijación de CO_2, producción de energía, biomasa y disipación calórica. Es importante destacar que el flujo del agua en una planta mesofílica típica es del orden de 0,4 $\mu M.cm^{-1}.seg^{-1}$. Así mismo, el flujo de CO_2 es del orden de 1,2 nM. $cm^{-1}.seg^{-1}$, es decir que por cada molécula de CO2 que se fija, salen de la hoja 300 moléculas de agua (Barceló *et al*., 1980). Como se puede apreciar, la fijación de carbono supone para la planta el pagar un elevado tributo en forma de moléculas de agua.

La prueba de rangos múltiples de Duncan (gráfico 7) con los promedios ordenados de menor a mayor también ha detectado diferencias significativas (P<0,05) entre los promedios de tratamientos, siendo que el Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio con 2266,78 Kg de $H_20.ha^{-1}$ superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T2 (T2: Caoba - 2x3), T3 (Marupa-caoba – 6 años), T6 (Capirona-limón), T1 (Marupa - 2años), y quienes reportaron promedios de 682,47 Kg, 569,33 Kg^1, 541,48 Kg, 448,23 Kg y 411,27

Kg de $H_2O.ha^{-1}$ respectivamente. Considerando la tasa de asimilación total bruta de CO_2, producción de glucosa y su contenido calórico (673 K cal) de acuerdo a esto la incidencia de radiación en el proceso fotosintético absorbe solo el 4,8% en cual se convierte en enlaces químicos y el resto se convierte en calor (95,2%) el cual debe ser disipado y el agua en el proceso de transpiración lo hace refrigerando el sistema y devolviéndolo a la atmosfera en forma de vapor (Pinto, 1984), lo que se constituye un servicio ambiental de importancia al asegurar el ciclo hidrológico. Por otro lado, si maximizamos la tasa de transpiración en mayores unidades de área, entonces estaríamos hablando de millones de toneladas de agua que retornan a la atmosfera a través del proceso fotosintético con un incalculable servicio ambiental que nos brindan los sistemas productivos permanentes y los bosques en pie.

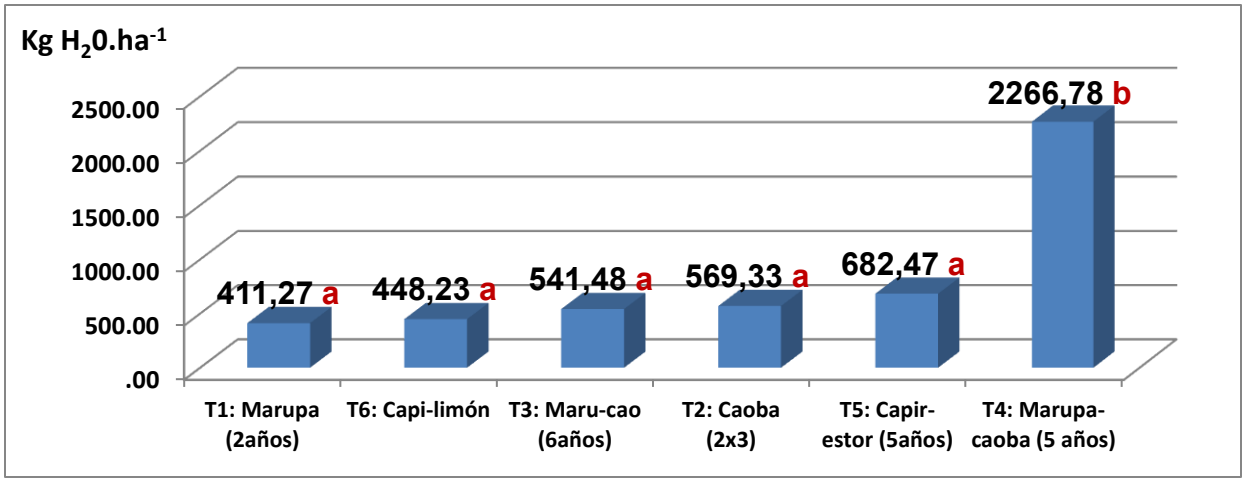

Gráfico 7: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto a los Kg de $H_2O.ha^{-1}$ utilizada para fijar CO_2

4.6. Del O_2 liberado en $kg.ha^{-1}$

F.V.	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	Sig. Del P-valor
Tratamientos	1,617E8	5	3,234E7	10,466	0,000 **
Error experimental	3,522E8	114	3089568,057		
Total	5,139E8	119			

R^2 = 31,5% C.V.= 120,5% Promedio = 1457,65

Cuadro 7: Análisis de varianza para el O_2 generado en $kg.ha^{-1}$

El análisis de varianza (cuadro 7) ha detectado diferencias altamente significativas (P>0,01) para la fuente de variabilidad Tratamientos. Los valores del Coeficiente de Determinación (R2) con 31,5% y del C.V.= 120,6% determinaron una alta variabilidad para la información obtenida del Contenido de O_2 generado en $Kg.ha^{-1}$ como resultado de la fijación de CO_2, es obvio que estos resultados también se deben a la naturaleza del crecimiento y desarrollo de las especies *Simarouba amara* "Marupa y *Swietenia macrophylla* "Caoba" las cuales están en función a la edad, densidad de plantas por unidad de área, asociación con otras especies y características de fertilidad natural del suelo. En base a la ecuación de la fotosíntesis la fijación de un mol de CO_2 produce 1,375 moles de oxigeno (Pinto, 1984) y este cálculo también se soporta en el Peso molecular de cada compuesto 44g para un mol de CO_2 y 32 g para un mol de O_2, hecho que sustenta que la fotosíntesis como proceso vital para la fijación de CO_2, producción de energía, biomasa y oxígeno.

Es importante destacar que si partimos del dato de que en el aíre hay una concentración de CO_2 de 0,03% del volumen (300 ppm), o lo que es lo mismo 0,16 mg de C por litro, para formar 1 g de materia seca (CH_2O) que contiene 400 mg de C, es preciso que la planta extraiga el CO_2 de unos 2.400 litros de aire. Esto nos da una magnitud del fenómeno, considerando que no es el caso, que todo el CO_2 de ese aire es extraído por la planta. Una Cosecha de 200 $T.ha^{-1}$ representa como mínimo un volumen de aire pasado por las plantas de 600.000 m^3 (Barceló *et al*., 1980).

La prueba de rangos múltiples de Duncan (gráfico 8) con los promedios ordenados de menor a mayor también ha detectado diferencias significativas (P<0,05) entre los promedios de tratamientos, siendo que el Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio con 4029,83 $Kg.ha^{-1}$ de O_2 liberado, superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T2 (T2: Caoba - 5 años), T3 (Marupa-caoba – 6 años), T6 (Capirona-limón), T1 (Marupa - 2años), y quienes reportaron promedios de 1213,28 Kg, 1012,14 Kg, 962,64 Kg,796,85 Kg y 731,15 $Kg.ha^{-1}$ de O_2 liberado respectivamente.

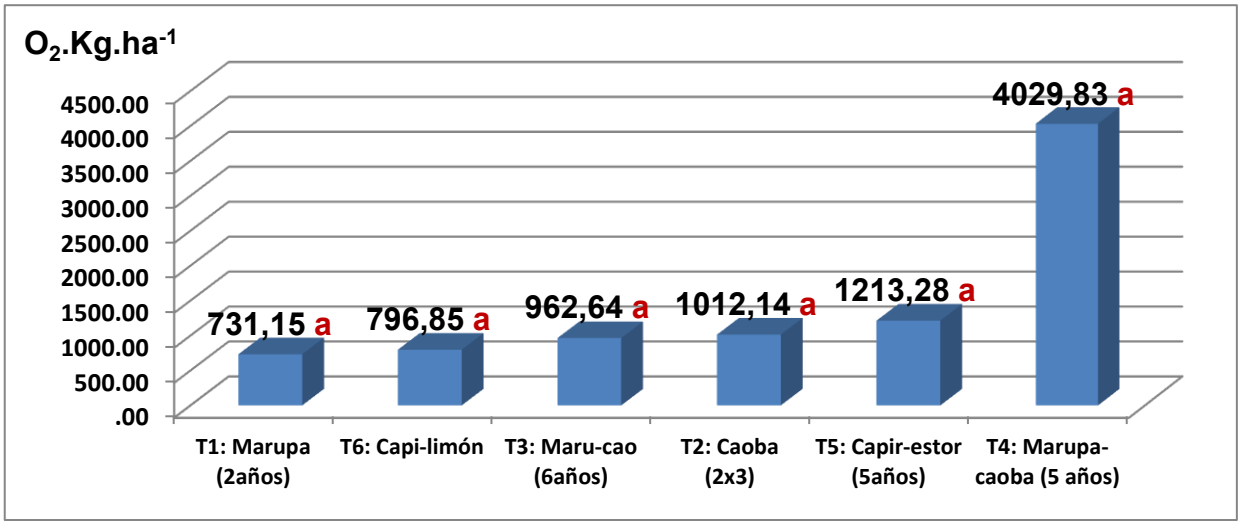

Gráfico 8: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05) para los promedios de tratamientos respecto al O_2 liberado en kg.ha^{-1}

4.7. Del valor económico de la biomasa aérea por servicio de secuestro de carbono.

Tomando en consideración que el efecto invernadero causado por la masiva emisión de CO_2 por el uso de combustibles fósiles es una amenaza para la calidad de vida en nuestro planeta, el cumplimiento del Protocolo de Kyoto es una oportunidad para la promoción de sistemas productivos con la incorporación de árboles (agroforestería) brindando oportunidades financieras (Reinders *et al*., 2003), porque a través de estos se asegura un efectivo proceso de captura de carbono atmosférico contribuyendo a la reducción de los efectos del cambio climático y el calentamiento global.

Considerando que el precio por tonelada de carbono fijada esta valorizada en US$ 4.30 dólares por hectárea al año, según la bolsa de valores (Fuente: www.ecosystemmarketplace.com, 2007) y sobre la base promedio obtenida en este corto tiempo de implementado los tratamientos evaluados, tenemos que el T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio con 33,5 T.ha^{-1} de C lo que implicaría un valor de US$ 150,75 dólares por hectárea, que obviamente no es un monto apetecible, siendo mayor con mayores extensiones, la cual se incrementara también en función a la edad del sistema agroforestal. Si a esto le sumamos la valoración ambienta por la tasa de agua transpirada y el oxígeno generado, el valor ambiental del proceso que implica la fijación de C se incrementaría.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- El Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio en diámetro a la altura del pecho, con 8,87 cm, superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T2 (Caoba - 5 años) T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T1 (Marupa – 2 años), T6 (Capirona-limón) y T3 (Marupa-caoba – 6 años) quienes reportaron promedios de 5,98 cm, 5,88 cm, 5,21 cm 5,19 cm y 5,10 cm de diámetro a la altura del pecho respectivamente.

- El diámetro a la altura del pecho está en función de la edad y la densidad de plantas por unidad de área, donde la variación se puede observar como en el caso de Caoba, que reportó un DAP de 5,1 cm cuando la densidad fue de 1666 Plantas.ha^{-1}, 7,33 a una densidad de 625 Plantas.ha^{-1} en asociación con Marupa, quién reportó un DAP de 2,87 cm cuando las plantas tenían 2 años de edad. La Caoba asociada con marupa alcanzó 4,46 cm al DAP en una plantación con una densidad de 400 Plantas.ha^{-1}.

- El Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio de carbono por hectárea, siendo esto igual a 20,32 Kg de carbono/árbol, superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T2 (T2: Caoba - 5 años), T3 (Marupa-caoba – 6 años), T6 (Capirona-limón), T1 (Marupa - 2años), y quienes reportaron promedios de 6,12 Kg/árbol, 5,1 Kg/árbol, 4,85 Kg/árbol, 4,02 Kg/árbol y 3,69 Kg/árbol respectivamente.

- El Tratamiento T4 (Marupa-caoba - 5 años) obtuvo el mayor promedio de C 33,5 T.ha^{-1} superando estadísticamente a los promedios obtenidos por los tratamientos T5 (Capirona-estoraque – 5 años), T2 (T2: Caoba - 5 años), T3 (Marupa-caoba – 6 años), T6 (Capirona-limón), T1 (Marupa – 2 años), y quienes reportaron promedios de 10,19 T.ha^{-1}, 8,5 T.ha^{-1}, 8,09 T.ha^{-1}, 6,69 T.ha^{-1} y 6,14 T.ha^{-1} de C respectivamente.

- Es importante destacar los servicios ambientales intrínsecos en el proceso fotosintético como son el agua transpirada y el oxígeno generado como elementos fundamentales en la fijación de C y la vida de los seres vivos de nuestro planeta.

- Dada la edad de los sistemas productivos evaluados, se ha estimado un valor económico para el T4 (Marupa-caoba - 5 años), quien obtuvo 33,5 $T.ha^{-1}$ de C lo que implicaría un valor de US$ 150,75 dólares por hectárea, y el cual se incrementaría con el tiempo y con mayores extensiones.

5.2. Recomendaciones

Las conclusiones de este trabajo de investigación nos permiten indicar las recomendaciones siguientes:

- Promocionar sistemas agroforestales para acelerar el secuestro de carbono con la incorporación de especies amazónicas arbóreas de rápido, medio y lento crecimiento; además, para reducir la deforestación y la presión antrópica sobre los bosques naturales.

- Promover trabajos de investigación en sistemas agroforestales diversificados, para corroborar esta información sobre la cuantificación del secuestro de carbono en las especies evaluadas.

- Tomar en cuenta las oportunidades económicas que se aperturan en el marco de las negociaciones del mercado de carbono.

VI. ANEXOS O APÉNDICE

N° de árbol	Nombre vulgar	DAP (cm)	Contenido de C.kg.árbol^{-1}	Contenido de C.T.ha^{-1}	CO_2.T.ha^{-1} 44/12	kg de CO_2.ha^{-1}	kg de H_2O.ha^{-1} utilizada para fijar CO_2	O_2 liberado en kg.ha^{-1}
1	Marupa	4.2	2.01	3.35	0.91	548.43	224.36	398.86
2	Marupa	4.7	2.67	4.45	1.21	728.97	298.21	530.16
3	Marupa	5.8	4.55	7.58	2.07	1241.00	507.68	902.55
4	Marupa	6.5	6.07	10.11	2.76	1655.66	677.32	1204.12
5	Marupa	6.2	5.39	8.97	2.45	1469.10	601.00	1068.44
6	Marupa	6.5	6.07	10.11	2.76	1655.66	677.32	1204.12
7	Marupa	6.2	5.39	8.97	2.45	1469.10	601.00	1068.44
8	Marupa	5.2	3.45	5.75	1.57	941.43	385.13	684.68
9	Marupa	5.5	3.98	6.63	1.81	1084.97	443.85	789.07
10	Marupa	4.4	2.26	3.77	1.03	616.93	252.38	448.68
11	Marupa	5.3	3.62	6.03	1.65	987.91	404.15	718.48
12	Marupa	5	3.13	5.21	1.42	852.50	348.75	620.00
13	Marupa	5.5	3.98	6.63	1.81	1084.97	443.85	789.07
14	Marupa	7.00	7.32	12.20	3.33	1997.09	816.99	1452.43
15	Marupa	4	1.78	2.96	0.81	484.74	198.30	352.54
16	Marupa	3.5	1.27	2.11	0.58	345.77	141.45	251.47
17	Marupa	4.5	2.39	3.99	1.09	653.02	267.15	474.93
18	Marupa	5.7	4.35	7.25	1.98	1187.58	485.83	863.70
19	Marupa	4	1.78	2.96	0.81	484.74	198.30	352.54
20	Marupa	4.4	2.26	3.77	1.03	616.93	252.38	448.68
Promedios		**5.21**	**3.69**	**6.14**	**1.67**	**1005.33**	**411.27**	**731.15**

Cuadro 8: Evaluación de Marupas de 2 años de edad.

N° de árbol	Nombre vulgar	DAP (cm)	Contenido de C.kg.árbol^{-1}	Contenido de C.T.ha^{-1}	CO_2.T.ha^{-1} 44/12	kg de CO_2.ha^{-1}	kg de H_2O.ha^{-1} utilizada para fijar CO_2	O_2 liberado en kg.ha^{-1}
1	caoba	5,66	4.28	7.13	1.94	1166.61	477.25	848.44
2	caoba	5.5	3.98	6.63	1.81	1084.97	443.85	789.07
3	caoba	6	4.96	8.26	2.25	1352.15	553.15	983.38
4	caoba	6	4.96	8.26	2.25	1352.15	553.15	983.38
5	caoba	8	10.27	17.10	4.66	2799.74	1145.35	2036.18
6	caoba	6.5	6.07	10.11	2.76	1655.66	677.32	1204.12
7	caoba	8	10.27	17.10	4.66	2799.74	1145.35	2036.18
8	caoba	6.5	6.07	10.11	2.76	1655.66	677.32	1204.12
9	caoba	6	4.96	8.26	2.25	1352.15	553.15	983.38
10	caoba	6	4.96	8.26	2.25	1352.15	553.15	983.38
11	caoba	5.7	4.35	7.25	1.98	1187.58	485.83	863.70
12	caoba	5.5	3.98	6.63	1.81	1084.97	443.85	789.07
13	caoba	5.3	3.62	6.03	1.65	987.91	404.15	718.48
14	caoba	6.5	6.07	10.11	2.76	1655.66	677.32	1204.12
15	caoba	5.5	3.98	6.63	1.81	1084.97	443.85	789.07
16	caoba	6	4.96	8.26	2.25	1352.15	553.15	983.38
17	caoba	5	3.13	5.21	1.42	852.50	348.75	620.00
18	caoba	5	3.13	5.21	1.42	852.50	348.75	620.00
19	caoba	6	4.96	8.26	2.25	1352.15	553.15	983.38
20	caoba	5	3.13	5.21	1.42	852.50	348.75	620.00
Promedios		**6**	**5.10**	**8.50**	**2.32**	**1391.69**	**569.33**	**1012.14**

Cuadro 9: Evaluación de Caoba de 5 años de edad.

N° de árbol	Nombre vulgar	DAP (cm)	Contenido de C.kg.árbol^{-1}	Contenido de C.T.ha^{-1}	CO_2.T.ha^{-1} 44/12	kg de CO_2.ha^{-1}	kg de H_2O.ha^{-1} utilizada para fijar CO_2	O_2 liberado en kg.ha^{-1}
1	caoba	5.9	4.75	7.92	2.16	1295.85	530.12	942.44
2	caoba	7.5	8.72	14.53	3.96	2377.97	972.80	1729.43
3	caoba	7.4	8.43	14.04	3.83	2298.57	940.32	1671.68
4	caoba	7.4	8.43	14.04	3.83	2298.57	940.32	1671.68
5	caoba	5.6	4.16	6.94	1.89	1135.58	464.55	825.87
6	caoba	10.8	21.93	36.54	9.97	5982.23	2447.27	4350.71
7	caoba	6.2	5.39	8.97	2.45	1469.10	601.00	1068.44
8	caoba	8.06	10.46	17.43	4.75	2853.17	1167.21	2075.04
9	caoba	7.3	8.14	13.57	3.70	2220.79	908.51	1615.12
10	caoba	7.1	7.59	12.65	3.45	2070.07	846.85	1505.50
11	Marupa	2.3	0.44	0.73	0.20	119.53	48.90	86.93
12	Marupa	3.2	1.01	1.68	0.46	275.63	112.76	200.46
13	Marupa	1.7	0.20	0.34	0.09	55.63	22.76	40.46
14	Marupa	3.4	1.18	1.96	0.54	321.32	131.45	233.69
15	Marupa	3.6	1.36	2.27	0.62	371.32	151.90	270.05
16	Marupa	1.6	0.17	0.29	0.08	47.72	19.52	34.71
17	Marupa	2.5	0.54	0.90	0.25	147.60	60.38	107.35
18	Marupa	2.4	0.49	0.81	0.22	133.12	54.46	96.81
19	Marupa	3.5	1.27	2.11	0.58	345.77	141.45	251.47
20	Marupa	4.5	2.39	3.99	1.09	653.02	267.15	474.93
Promedios		**5.10**	**4.85**	**8.09**	**2.21**	**1323.63**	**541.48**	**962.64**

Cuadro 10: Evaluación Marupa de 2 años de edad y Caoba de 6 años de edad.

N° de árbol	Nombre vulgar	DAP (cm)	Contenido de C.kg.árbol^{-1}	Contenido de C.T.ha^{-1}	CO_2.T.ha^{-1} 44/12	kg de CO_2.ha^{-1}	kg de H_2O.ha^{-1} utilizada para fijar CO_2	O_2 liberado en kg.ha^{-1}
1	Caoba	4.6	2.53	4.22	1.15	690.36	282.42	502.08
2	Caoba	4	1.78	2.96	0.81	484.74	198.30	352.54
3	Caoba	6.5	6.07	10.11	2.76	1655.66	677.32	1204.12
4	Caoba	3	0.86	1.43	0.39	234.11	95.77	170.26
5	Caoba	6	4.96	8.26	2.25	1352.15	553.15	983.38
6	Caoba	4.8	2.82	4.70	1.28	768.85	314.53	559.16
7	Caoba	5.3	3.62	6.03	1.65	987.91	404.15	718.48
8	Caoba	3.6	1.36	2.27	0.62	371.32	151.90	270.05
9	Caoba	3.3	1.09	1.82	0.50	297.95	121.89	216.69
10	Caoba	3.5	1.27	2.11	0.58	345.77	141.45	251.47
11	Marupa	13.6	39.30	65.48	17.86	10719.00	4385.04	7795.63
12	Marupa	13.3	37.15	61.88	16.88	10130.84	4144.43	7367.88
13	Marupa	10.6	20.92	34.85	9.51	5705.90	2334.23	4149.75
14	Marupa	14.6	47.03	78.35	21.37	12826.65	5247.27	9328.48
15	Marupa	15.6	55.61	92.65	25.27	15167.22	6204.77	11030.70
16	Marupa	15.6	55.61	92.65	25.27	15167.22	6204.77	11030.70
17	Marupa	12	28.63	47.71	13.01	7809.61	3194.84	5679.71
18	Marupa	13.3	37.15	61.88	16.88	10130.84	4144.43	7367.88
19	Marupa	13	35.06	58.41	15.93	9562.63	3911.99	6954.64
20	Marupa	11.1	23.51	39.17	10.68	6411.62	2622.94	4663.00
Promedio		**8.87**	**20.32**	**33.85**	**9.23**	**5541.02**	**2266.78**	**4029.83**

Cuadro 11: Evaluación de Marupa – caoba de 5 años de edad

N° de árbol	Nombre vulgar	DAP (cm)	Contenido de C.kg.árbol^{-1}	Contenido de C.T.ha^{-1}	CO_2.T.ha^{-1} 44/12	kg de CO_2.ha^{-1}	kg de H_2O.ha^{-1} utilizada para fijar CO_2	O_2 liberado en kg.ha^{-1}
1	Capirona	7.5	8.72	14.53	3.96	2377.97	972.80	1729.43
2	Capirona	7.67	9.23	15.37	4.19	2516.71	1029.56	1830.33
3	Capirona	5.07	3.24	5.39	1.47	883.02	361.24	642.20
4	Capirona	10.67	21.27	35.44	9.67	5801.72	2373.43	4219.43
5	Capirona	9	13.83	23.04	6.28	3771.67	1542.96	2743.04
6	Capirona	8.07	10.49	17.48	4.77	2862.14	1170.88	2081.56
7	Capirona	7.67	9.23	15.37	4.19	2516.71	1029.56	1830.33
8	Capirona	6.4	5.84	9.72	2.65	1591.97	651.26	1157.80
9	Capirona	7	7.32	12.20	3.33	1997.09	816.99	1452.43
10	Capirona	4.83	2.86	4.77	1.30	781.06	319.53	568.05
11	Estoraque	3.83	1.59	2.65	0.72	434.30	177.67	315.86
12	Estoraque	2.5	0.54	0.90	0.25	147.60	60.38	107.35
13	Estoraque	4.07	1.86	3.09	0.84	506.49	207.20	368.36
14	Estoraque	3.07	0.91	1.52	0.41	248.18	101.53	180.49
15	Estoraque	2	0.31	0.51	0.14	83.93	34.33	61.04
16	Estoraque	6.83	6.88	11.46	3.13	1876.66	767.72	1364.84
17	Estoraque	4.17	1.97	3.29	0.90	538.57	220.33	391.69
18	Estoraque	3.33	1.12	1.86	0.51	304.85	124.71	221.71
19	Estoraque	5.67	4.30	7.16	1.95	1171.83	479.39	852.24
20	Estoraque	8.17	10.83	18.04	4.92	2952.72	1207.93	2147.43
Promedios		**5.88**	**6.12**	**10.19**	**2.78**	**1668.26**	**682.47**	**1213.28**

Cuadro 12: Evaluación de Capirona – Estoraque de 5 años de edad.

N° de árbol	Nombre vulgar	DAP (cm)	Contenido de C.kg.árbol^{-1}	Contenido de C.T.ha^{-1}	CO_2.T.ha^{-1} 44/12	kg de CO_2.ha^{-1}	kg de H_2O.ha^{-1} utilizada para fijar CO_2	O_2 liberado en kg.ha^{-1}
1	Capirona	2.33	0.45	0.75	0.21	123.51	50.53	89.83
2	Capirona	5.83	4.61	7.68	2.09	1257.31	514.35	914.41
3	Capirona	6	4.96	8.26	2.25	1352.15	553.15	983.38
4	Capirona	5.83	4.61	7.68	2.09	1257.31	514.35	914.41
5	Capirona	4.66	2.62	4.36	1.19	713.37	291.83	518.82
6	Capirona	7.66	9.20	15.32	4.18	2508.42	1026.17	1824.30
7	Capirona	4.66	2.62	4.36	1.19	713.37	291.83	518.82
8	Capirona	6.83	6.88	11.46	3.13	1876.66	767.72	1364.84
9	Capirona	5.5	3.98	6.63	1.81	1084.97	443.85	789.07
10	Capirona	6.5	6.07	10.11	2.76	1655.66	677.32	1204.12
11	Limón	4.75	2.75	4.57	1.25	748.75	306.31	544.54
12	Limón	3.9	1.67	2.78	0.76	454.67	186.00	330.67
13	Limón	5.17	3.40	5.67	1.55	927.75	379.53	674.73
14	Limón	5	3.13	5.21	1.42	852.50	348.75	620.00
15	Limón	2.8	0.72	1.20	0.33	196.61	80.43	142.99
16	Limón	8.17	10.83	18.04	4.92	2952.72	1207.93	2147.43
17	Limón	6.42	5.88	9.80	2.67	1604.59	656.42	1166.98
18	Limón	4.5	2.39	3.99	1.09	653.02	267.15	474.93
19	Limón	5	3.13	5.21	1.42	852.50	348.75	620.00
20	Limón	2.36	0.47	0.78	0.21	127.58	52.19	92.78
Promedio		**5.19**	**4.02**	**6.69**	**1.83**	**1095.67**	**448.23**	**796.85**

Cuadro 13: Evaluación de Capirona de 5 años de edad y Limón de 10 años de edad.

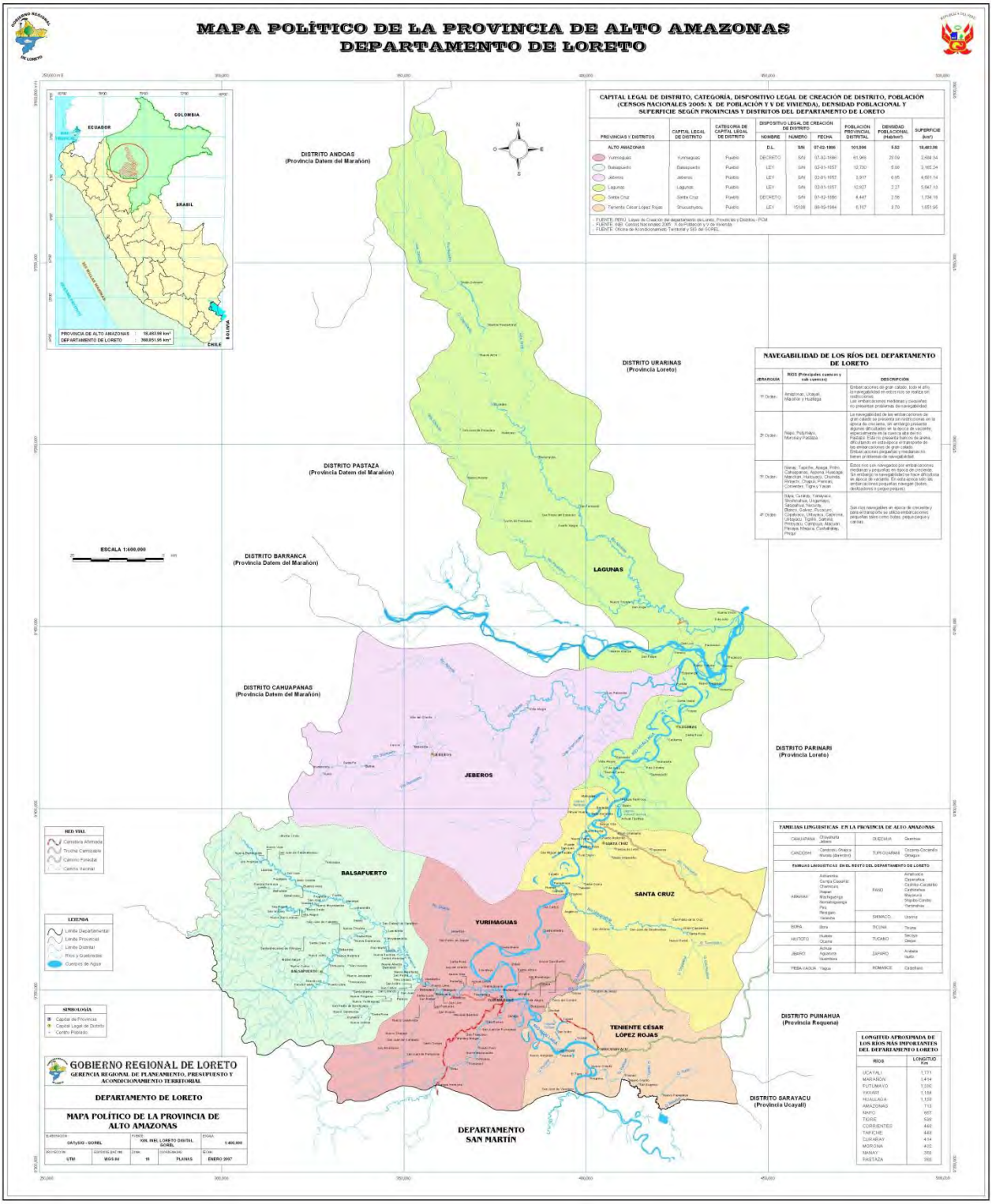

Ilustración N° 01: Mapa Político de la Provincia de Alto Amazonas, Departamento de Loreto

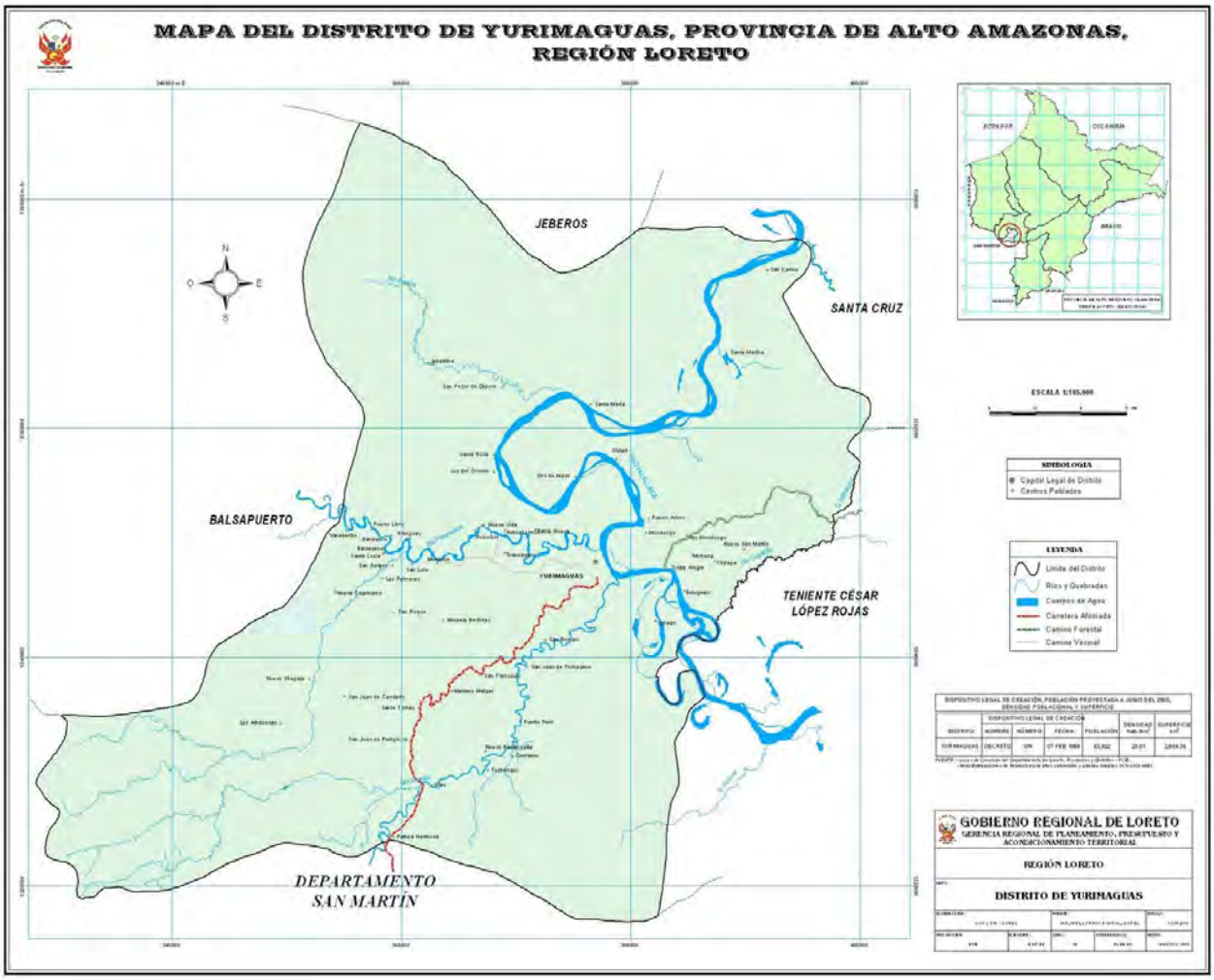

Ilustración N° 02: Mapa del Distrito de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, Región Loreto

Ilustración N° 03: Vista Satelital de la cuidad de Yurimaguas, Distrito de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, Región Loreto.

Ilustración N° 04: Vista Satelital del Centro de Enseñanza, Producción e Investigación Agroforestal – Yurimaguas

Foto N° 01: Tratamiento 01 - Marupa de 2 años (2000 P/ha).

Foto N° 02: Tratamiento 02 - Caoba de 5 años (1666 P/ha).

Foto N° 03: Tratamiento 03 - Marupa de 2 años y Caoba de 6 años (2500 – 625 P/ha)

Foto N° 04: Tratamiento 04 - Marupa - Caoba de 5 años (1600 – 400 P/ha)

Foto N° 05: Tratamiento 05 - Capirona – Estoraque de 5 años (2000 – 333 P/ha)

Foto N° 06: Tratamiento 06 - Capirona de 5 años y Limón de 10 años (2000 – 417 P/ha).

VII. BIBLIOGRAFÍA.

7.1. Bibliografía

1. ARÉVALO. L. (2003) Manejo de Sitemas Agrosilvopastoriles con *Bactris gasipaes*. Soil Science. Anual Report. Nor Caroline University. EEUU.
2. ALEGRE, J., L. ARÉVALO Y A. RICSE. 2001. Reservas de carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en los sitios de la Amazonía peruana. Taller Internacional de Sistema Agroforestales CORPOICA, 31 de julio al 3 de Agosto. Santa Fe de Bogotá, Colombia, 15 p.
3. ALEGRE, J., RICSE A, ARÉVALO, BARBARÁN J, PALM C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo 12:8-9.
4. ALEGRE, J., L. ARÉVALO Y A. RICSE., J. BARBARÁN Y C. PALM. 2003. Reservas de carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en los sitios de la Amazonía Peruana Simposio Internacional de Agroforestería. Manaus, Brazil EMBRAPA 21-24 de Noviembre 2000. 15 p.
5. ALVARADO, J.; LÓPEZ, D, E; MEDINA B. 1999. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agroecosistema café en Guatemala. Boletín PROMECAFE, 81 (enero- abril). P. 7-14.
6. BARBARÁN, G.J. 1999. Determinación de la biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en la zona de Campo Verde. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú, 54 p
7. BARCELÓ J.; NICOLAS G.; SABATER B. y SANCHEZ R. 1980 Fisiología Vegetal. 6ta edición. Ediciones Pirámide S.A. Madrid. 659 p.
8. BEAUMONT R. B. 1999. El protocolo de Kioto y el mecanismo para un desarrollo limpio: nuevas posibilidades para el sector forestal. FAO, Santiago, Chile. 99 p.
9. CIELSA, W. M. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudio FAO Montes No 126. 147 p.

10. DE LA VEGA, JORGE. 2007. Calentamiento Global – Captura de Carbono. México.

11. FERNANDEZ, LUIS. 2010. Valoración Económica de una Plantación de Aguaje (*mauritia flexuosa Lt.*) Establecida en un Bosque Secundario. Tingo María, Perú.

12. FONAM, 2007. VII Seminario Regional MDL Forestal & Grupo técnico trabajó propuesta de definición de bosques para fines del MDL. www.fonamperu.org Página visitada el 10 de Mayo 2007. Actualizado el 8 de Junio de 2007.

13. FOURNIER, O. L. A. 1996. Fijación de carbono y diversidad biológica en el agroecosistema cafetero. Boletín 71, PROMECAFE. IICA, Costa Rica. p. 7 – 13.

14. HIDALGO, PRUDENCIO. 2006. Determinación de las reservas totales de carbono en plantaciones forestales de "*eucalyptus globulus L"*. En marcará – Carhuaz, 2003. Perú. 39 pág.

15. IUCC, PNUMA. 1995. Para comprender el cambio climático: guía elemental de la Convención Marco de las Naciones U idas. Oficina de Información sobre el Cambio Climático. Oficina Suiza del Medio Ambiente de Bosques y Paisajes. Chateleine, Suiza. 20 p.

16. ISMIÑO, M.; CHAPPA S.M., C.E. 2006**.** "Estimación del Carbono en la Biomasa Aérea del Café bajo sombra de guaba en la Provincia de Lamas - Perú" Para optar el Título de Ingeniero Agrónomo, UNSM – T Pág. 17.

17. KAIMOWITZ, D. 2003. Mercados de carbono para los pobres; reseñas de estudios. In inermes ante el cambio climático. AMBIENTICO: No. 112 enero.

18. LAPEYRE, T. ALEGRE, J. y AREVALO, L. 2004. "Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú". *Ecol. apl.* [En Línea]. [citado 28 Octubre 2008], (http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-221620 04000100006 &lng=es&nrm=iso>. ISSN 1726-2216).

19. LARREA, C. 2007. "Determinación de las reservas de carbono en la Biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L." Para optar el Título de Ingeniero Ambiental, UNALM. 146 pág.

20.LOPEZ, W. 1994. “Sistemas Agrarios de producción” Tarapoto – Perú. 113 p.

21.LÓPEZ, A. 1998. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 50 p.

22.MAISONNAVE, R. 1997. El Efecto Invernadero y el Clima. Conferencia realizada para la Academia Nacional de Ingeniería el día 28 de octubre de 1997 en el Salón de Actos del Ministerio de Educación y Cultura. Perú. 30 pág.

23.MENDEZ, E. 2001. Ecuaciones de biomasa para especies de matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México. Datos con aplicaciones para inventarios de biomasa. México. 74 pág.

24.MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1985. Proyecto de estudio sobre investigación y experimentación en regeneración de bosques en la zona amazónica de la República del Perú. Lima – Perú. 38 p.

25.MORALES, NELSON. 2008. El Calentamiento Global. Nicaragua. 32 pág.

26.ONER, 1982. Clasificación de las tierras del Perú. ONER, Lima, Perú.

27.ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. 1989. Primera reunión técnica sobre monitoreo de proceso de deforestación / degradación de bosques húmedos tropicales. Documento de campo Nº15. Lima – Perú. Octubre de 1988. 137 p.

28.ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE MADERAS TROPICALES 1998. Los bosques tropicales en el protocolo de Kyoto. Actualidad forestal tropical. 6(4). 5-8.

29.PALM, C.A., P.L. WOOMER, J. ALEGRE, L. ARÉVALO, C. CASTILLA, D.G. CORDEIRO, B. FEIGL, K. HAIRIAH, J.KOTTO-SAME, A. MENDES, A. MOUKAM, D. MURDIYARSO, R. NJOMGANAG, W.J. PARTON, A. RICSE, V. RODRIGUEZ, S.A. SITOMPUL, AND M. VAN NOORDWIJK 1999. Carbon Sequestration and Trace Emissions in Slash and Burn and alternative Land Uses in the Humid Tropics. ASB Climate Change working group report, Final report, Phase 2.27 p.

30.PEREZ, J. (2011). Manejo de Seis Especies Forestales Amazónicas. Imprenta LLalengo. Yurimaguas-Peru.

31. PINTO M. 1984 Fisiología de la producción vegetal. Departamento de producción Agrícola. Publicación Docente, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. 125 p

32. RAMÍREZ, O; RODRÍGUEZ, L; FINEGAN, B; GÓMEZ, M. 1999. Implicaciones económicas del secuestro de CO2 en los bosques naturales. Revista Forestal Centroamericana. "(279: 10-16.

33. REINDERS H.P.; LINARES R., BRIONES A., MENDOZA J., BERRU D. Y PAREDES R. 2003 Experiencias agroforestales en el Cumbaza. San Martín. CEDISA – Embajada Real de los Países Bajos. 1era edición. 147 p.

34. SMITH, 1993. "Captura de Carbono en un bosque tropical" Michoacan – México

35. UICN. 2001 "Aporte a la Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica". Comité Peruano de la Unión Mundial para la Conservación. Lima, Perú.

36. UNEP, GEMS. 1992. Los gases que producen el efecto de invernadero, cambio climático global. Sánchez – Vélez A. Y. Gerón D., Traductores. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 41 p.

37. UNFCCC, 2005 "The Mechanisms under the Kyoto Protocol: The Clean Development Mechanism, Joint Implementation and Emissions Trading". unfccc.int/kyoto_ protocol/mechanisms/items/1673.php. Página visitada el 28 de Abril del 2007.

38. WINROCK INTERNATIONAL 1998. Avances en la medición de carbono en Guatemala. In Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Márquez, L.2000 (Ed). Fundación solar. 40 p.

39. WOODS HOLE RESEARCH CENTER (WHRC) 1998. Global carbon cycle. The Woods Hole Research Center.

7.2. Referencia virtual.

1. Perueconomico.com link: http://perueconomico.com/ediciones/40-2009-dec/articulos/478-loreto-y-ucayali-medio-ambiente
2. Deforestación efecto invernadero. http://ecolamancha.wordpress.com/2007/12/14/deforestacion-aumenta-efecto-invernadero/
3. COPYRIGHT 2000. Multimedios Ambiente Ecológico http://www.ambiente-ecologico.com/ / info@ambiente-ecologico.com