

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y  
MEDIO AMBIENTE**



**“Determinación del stock de carbono aéreo, en una plantación de  
*Theobroma grandiflorum* (copoazú), Distrito de Inambari, Provincia de  
Tambopata, región Madre de Dios”**

**Tesis Presentado por:**

**Bachiller: Bustamante Muñoz, José Arturo**

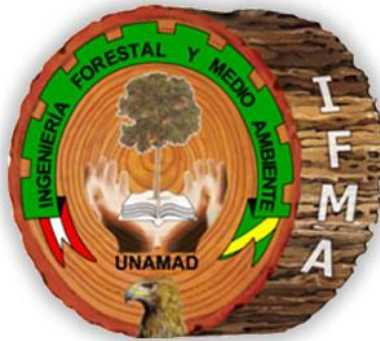
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

**Asesor: Dr. Alarcón Aguirre, Gabriel**

**PUERTO MALDONADO, 2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE  
DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y  
MEDIO AMBIENTE**



**“Determinación del stock de carbono aéreo, en una plantación de  
*Theobroma grandiflorum* (copoazú), Distrito de Inambari, Provincia de  
Tambopata, región Madre de Dios”**

**Tesis Presentado por:**

**Bachiller: Bustamante Muñoz, José Arturo**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

**Asesor: Dr. Alarcón Aguirre, Gabriel**

**PUERTO MALDONADO, 2017**

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a mis madrecitas Yolanda, Maribel, Angelica, Eliberta Odalis, a Joao Luis De Oliveira, a mis hermanas, primos(as), amigos Luis Delgado, Jheyson Valdivia, Gerson Sánchez, y a mi asesor Dr. Gabriel Alarcón.

## **AGRADECIMIENTO**

Doy agradecimientos a mi familia, colegas, compañeros de trabajo, amigos y asesores, por su apoyo incondicional el cual hizo posible la realización y culminación de esta Investigación, que hizo posible la obtención de mi título de ingeniero.

## INDICE

RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	3
INTRODUCCIÓN.....	5
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.1 Descripción del Problema.....	6
1.2 Formulación del Problema.....	6
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.4 Hipótesis.....	8
1.5 Justificación.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.....	11
2.1 Antecedentes.....	11
2.2. Marco Teórico.....	26
2.2.1 Modelos Utilizados Para Estimar Biomasa Aérea.....	26
2.2.2. Reservas de carbono.....	27
2.2.3 Carbono almacenado.....	27
2.2.4. Secuestro de carbono.....	28
2.2.5. Cambio de uso de la tierra y pérdidas de carbono almacenado.....	28
2.2.6. Ciclo global del carbono.....	29
2.2.7. mercado de carbono.....	29
2.2.8. Climatología.....	30
2.2.9. Vegetación.....	31
2.2.10. Tipo de Parcelas.....	31
2.2.11. Ciclo del carbono.....	33
2.2.12. Relación biomasa – c - CO <sub>2</sub> .....	34
2.2.13. Ecuaciones alométricas.....	35
2.2.14. <i>Theobroma grandiflorum</i> .....	35
2.2 Definición de Terminos.....	36
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.1. Tipo y Diseño del Estudio.....	39

3.2 Población y Muestra.....	39
3.2.1 Forma y tamaño de la Muestra .....	39
3.2.2 Número de parcela.....	40
3.2.3. Distribución de la Muestra.....	42
3.3 Métodos y Técnicas .....	42
3.3.1 Ubicación geográfica.....	43
3.3.2 Información General.....	43
3.3.3 Información Basica.....	43
3.3.4. Delimitación del área de estudio .....	44
3.3.5. Accesibilidad .....	44
3.3.6 Aspecto biofísico .....	45
3.3.7 Materiales, herramientas y equipos .....	45
3.3.8 Técnicas de Investigación.....	47
3.3.9 Establecimiento del sitio.....	48
3.3.10 Muestreo de los almacenes de carbono .....	51
3.3.11 Depósito de carbono a medir .....	54
3.3.12 Selección de Sitios.....	56
3.3.13. Tipo de Parcela .....	58
3.4 Tratamiento de los Datos .....	58
3.4.1. Calculo de Biomasa Sobre el Suelo.....	58
3.4.2. Cálculo de stocks de carbono en la biomasa arbórea.....	59
3.4.3. Fases del proceso de investigación .....	63
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
4.1.1 Resultados del Cálculo de Biomasa Sobre el Suelo .....	64
4.2.2 Resultados del Cálculo de toneladas de carbono almacenado por hectárea .....	66
4.2.3 Resultados del Cálculo de Carbono Equivalente de la plantación de Teobroma grandiflorum /hectárea .....	68
CONCLUSIONES .....	69
RECOMENDACIONES .....	70
SUGERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Sistemas silvícolas y agroforestales y la captura de carbono en tres niveles de producción .....	14
Tabla 02. Ecuaciones alométrica para la estimación de Biomasa Aérea .....	26
Tabla 03. Cálculos preliminares.....	40
Tabla 04. Ubicación de la Plantación de Copoazú.....	44
Tabla 05. Depósitos de carbono a medir .....	55
Tabla 06. Matriz de recomendaciones de depósitos de carbono a medir por tipo de proyecto .....	56
Tabla 07. distribución de la biomasa sobre el suelo, por parcelas de muestreo (tb/ha).....	64
Tabla 08. distribución del Carbono sobre el suelo, por parcelas de muestreo (tC/ha) .....	66

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 01. Diagrama de perfil de un bosque primario donde aparecen arboles con diámetro normal mayor e igual a 10 cm .....	32
Figura 02. Parcela Circular. Diagrama de parcelas circulares concéntricas centradas por un árbol focal.....	33
Figura 03. Parcela Circular. Diagrama de parcelas circulares concéntricas centradas por un árbol focal.....	39
Figura 04. Resumen de la metodología utilizada para la obtención de los resultados.....	47
Figura 05. Esquema de parcela circular de 1 017,88 m <sup>2</sup> .....	48
Figura 06. Procedimiento para delimitar el sitio de muestreo. Tendido de lazos .....	50
Figura 07. Sitio de muestreo con 8 subdivisiones.....	50
Figura 08. Puntos de muestreo de hojarasca y suelos .....	51
Figura 09. Tipo de Bosque (Ba-Id)- Zonificación Económica Ecológica.....	57
Figura 10. Distribución de parcelas dentro de la parcela .....	63
Figura 11. Tonelada de Biomasa por Hectárea (tb/ha) .....	65
Figura 12. Tonelada de Carbono por Hectárea (tC/ha).....	67



## INDICE DE ANEXOS

Anexo 01. Uso del clinómetro .....	78
Anexo 02. Mapa de Base.....	79
Anexo 03. Mapa Satelital .....	80
Anexo 04. Mapa de Ubicación y Acceso.....	81
Anexo 05. Datos preliminares .....	82
Anexo 06. FOTOS .....	85
Anexo 07. Simbología .....	86

## RESUMEN

Nuestra amazonia peruana y en especial la región de Madre de Dios en los últimos 18 años vienen sufriendo una constante deforestación a través de las diferentes actividades productivas; sin considerar que nuestro bosque es un sistema frágil, donde la existencia de muchas especies se agudiza por la deforestación y tala selectiva, ocasionando un grave impacto ambiental. Una de las alternativas para la preservación de nuestra amazonia, es utilizar tecnología amigable con el medio ambiente y que sean sostenibles, como los sistemas agroforestales (SAF).

El presente estudio, se realizó en el fundo “El Porvenir”, propiedad del señor Edgar Sonco Quispe la misma que consta de un área de 30 ha.

El objetivo de estudio, fue determinar la biomasa y el stock de carbono que almacena el sistema agroforestal con el componente *Theobroma grandiflorum* Wild. Ex. Spreng. K. Schum “copoazu”, el área donde se levanta la infomación fueron dos hectáreas de SAF de 10 años de edad, ubicado en la parte sur oriental del Perú, Departamento de Madre de Dios a 10°49'25,2" de latitud Sur y a 69°50'22,96" longitud Oeste, km 83 carretera puerto Maldonado – Cusco Asociación de Agricultores Agroforestales Yanaoca, margen derecha ingresando por una trocha carrozable a 6 km.

Se realizó un inventario de la biomasa aérea y sub componentes, en 3 parcelas circulares de diseño anidado, de 0,3 ha (1 017,88 m<sup>2</sup> cada parcela) destinada para la especie *Theobroma grandiflorum* Wild. Ex. Spreng. K. Schum, “copoazu”, 1x1 m (1 m<sup>2</sup>) para hojarasca, 1x1 m (1 m<sup>2</sup>) para herbácea, 0,3x0,3x0,3 m<sup>3</sup> muestra de suelo, también se estimó en raíces de todas las muestras de *Theobroma grandiflorum* con el objetivo de estimar la biomasa y el stock de carbono, se emplearon ecuaciones alométricas a nivel de bosque húmedo

tropical. Los valores de biomasa aérea (toneladas de biomasa por hectárea – tb/ha) hallados resultaron con una mínima de 47,93tb/ha y una máxima de 50,95 tb/ha, con un promedio de 49,03 tb/ha. Así mismo se determinó el Stock de carbono (toneladas de Carbono por hectárea – tC/ha) encontrando un valor mínimo de 56,34 tC/ha y una máxima de 57,99 tC/ha, con un promedio de 56,95 tC/ha. No obstante, cabe mencionar, que las reducciones de emisiones resultantes de la actividad de proyectos agroforestales son contabilizadas en forma de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE's) y negociadas en mercados internacionales de carbono.

Un CRE´s corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), así mismo, una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO<sub>2</sub>e, obtenido en razón de los pesos moleculares 44/12, entonces si el sistema agroforestal de *Theobroma grandiflorum* Wild. Ex. Spreng. K. Schum (copoazu) son preservados, evitaríamos emitir o liberar 209 toneladas de CO<sub>2</sub> al medio ambiente.

**PALABRAS CLAVES:** carbono, biomasa aérea, stock de carbono, ecuaciones alométricas, sistema agroforestal, Madre de Dios.

## SUMMARY

Our Peruvian Amazon and especially the Madre de Dios region in the last 18 years have been suffering constant deforestation through the different productive activities; with out Considering that our forest is a fragile system, where the existence of many species is exacerbated by deforestation and selective logging, causing a serious environmental impact. One of the alternatives for the preservation of our Amazon, in using technology friendly to the environment and that are sustainable, such as agroforestry systems (SAF).

The present study was carried out in the "El Porvenir" farm, owned by Mr. Edgar Sonco Quispe, which consists of an area of 30 ha.

The objective of the study was to determine the biomass and carbon stock stored by the agroforestry system with the component *Theobroma grandiflorum* (Wild. Ex. Spreng.) K. Schum "copoazu", the area where the information was raised was two hectares of SAF of 10 years of age in the south eastern part of Peru, Department of Madre de Dios at 10 ° 49'25.2 "south latitude and at 69 ° 50'22.96 "West longitude, km 83 road Maldonado port - Cusco Association of Agroforestry Farmers Yanaoca, right bank entering by a truck path to 6 km.

An inventory of aerial biomass and sub-components was carried out in 3 circular plots of nested design, of 0.3 ha (1 017,88 m<sup>2</sup>) destined for the species *Theobroma grandiflorum* (Wild. Ex. Spreng.) K. Schum (copoazu), 1x1 m (1 m<sup>2</sup>) for litter, 1x1 m (1 m<sup>2</sup>) for herbaceous ground, 0.3x0.3x0.3 m<sup>3</sup>, was also estimated in roots of all *Theobroma grandiflorum* samples in order to estimate the biomass and the carbon stock, allometric equations were used at the tropical moist forest level. The values of aerial biomass (tons of biomass per hectare –

tb/ha) were found to be a minimum of 47,93tb/ha and a maximum of 50,95tb/ha, with an average of 49,03 tb/ha. Likewise, the Carbon Stock (tons of Carbon per hectare – tC/ha) was determined, finding a minimum value of 56,34 tC/ha and a maximum value of 57,99 tC/ha, with an average of 56,95 tC/ha. However, it should be mentioned that the reductions of emissions resulting from the activity of agroforestry projects are accounted for in the form of Emissions Reduction Certificates (CREs) and negotiated in international carbon markets.

One CRE's corresponds to one metric ton of carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>e), likewise, one tonne of carbon equals 3.67 tons of CO<sub>2</sub>e, obtained because of molecular weights 44/12, so if the agroforestry system *Theobroma grandiflorum* (Wild. Ex. Spreng.) K. Schum (copoazu) are preserved, we would avoid emitting or releasing 209 tons of CO<sub>2</sub> into the environment.

**KEY WORDS:** carbon, aerial biomass, carbon stock, allometric equations, agroforestry system, Madre de Dios.

## INTRODUCCION

Madre de Dios capital de la biodiversidad del Perú, es uno de los lugares más vulnerables en la sostenibilidad de la masa boscosa. Las limitaciones para acceder a mercados de carbono y el desconocimiento de la misma, son algunos factores que acarrearán a la pobreza, así como al mal uso de los recursos forestales de la amazonia.

Esto se agudiza en el caso de pequeños productores rurales que desconocen el potencial de su predio agrícola para la captura de CO<sub>2</sub>, necesarios para negociar créditos de carbono en los respectivos mercados. En este sentido, “los principales desafíos que limitan la adopción de intervenciones para viabilizar el acceso de agricultores y comunidades rurales a los mercados de carbono incluyen: La necesidad de mecanismos para una correcta cuantificación y monitoreo de stock de carbono; el insuficiente conocimiento de técnicas y prácticas de manejo agroforestal y agroecológicas; políticas públicas inadecuadas para promover tales inversiones; el tamaño mínimo recomendado para viabilizar financieramente un proyecto de carbono y la dificultad de agrupar pequeños productores en proyectos de escala adecuada, y, la carencia de promoción y mecanismos que promuevan vínculos equitativos de estos productores con mercados de carbono” (Rugnitz 2009).

En tal sentido se planteó la interrogante en el presente trabajo de investigación: ¿cuál es el stock de Carbono Aéreo, en una Plantación bajo sistema agroforestal de *Theobroma grandiflorum* (copoazú) mediante ecuaciones Alométricas, en tres compartimentos de la plantación (parte aérea, superficial y subterránea), en el distrito de Inambari, región Madre de Dios Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Región Madre de Dios.

## CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Descripción del Problema

Madre de Dios capital de la biodiversidad del Perú, es uno de los lugares más vulnerables en la sostenibilidad de la masa boscosa. Las limitaciones para acceder a mercados de carbono y el desconocimiento de la misma, son algunos factores que acarrearán a la pobreza, así como al mal uso de los recursos forestales de la amazonia. Esto se agudiza en el caso de pequeños y medianos productores rurales que desconocen el potencial de su predio agrícola para la captura de CO<sub>2</sub>, necesarios para negociar créditos de carbono en los respectivos mercados. En este sentido, los principales desafíos que limitan la adopción de intervenciones para viabilizar el acceso de agricultores y comunidades rurales a los mercados de carbono, las mismas que incluyen:

- La necesidad de mecanismos para una correcta cuantificación y monitoreo de stock de carbono.
- El insuficiente conocimiento de técnicas y prácticas de manejo agroforestal y agroecológicas
- El tamaño mínimo recomendado para viabilizar financieramente un proyecto de carbono y la dificultad de agrupar pequeños productores en proyectos de escala adecuada, y La carente promoción y mecanismos que promuevan vínculos equitativos de estos productores con mercados de carbono.

### 1.2 Formulación del Problema

En tal sentido se planteó la siguiente interrogante en el presente trabajo de investigación: ¿cuál es el stock de Carbono Aéreo, en una Plantación de *Theobroma grandiflorum* (cupoazú), en el Distrito de Inambari, ¿Provincia de Tambopata, Región Madre de Dios?

### 1.3 OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL

- Determinar el stock de carbono, en una plantación de *Theobroma grandiflorum* “copoazú” mediante ecuaciones Alométricas, en tres compartimentos de la plantación (parte aérea, superficial y subterránea), en el distrito de Inambari, región Madre de Dios.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la biomasa aérea en una plantación de *Theobroma grandiflorum* “copoazú”, distrito de Inambari, región Madre de Dios.
- Determinar el stock de carbono Aéreo en una plantación de *Theobroma grandiflorum* “copoazú”, distrito de Inambari, región Madre de Dios.
- Determina el carbono equivalente en una plantación de *Theobroma grandiflorum* “copoazú”, distrito de Inambari, región Madre de Dios.



## 1.4 Hipótesis

### **Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>):**

El stock de carbono aéreo en una plantación de *Theobroma grandiflorum* “copoazú” en el distrito de Inambari, región Madre de Dios, está por debajo de los valores promedios de la especie *Theobroma cacao*.

### **Hipótesis Alterna (H<sub>a</sub>):**

El stock de carbono aéreo en una plantación de *Theobroma grandiflorum* “copoazú” en el distrito de Inambari, región Madre de Dios, está por encima de los valores promedios de la especie *Theobroma cacao*.

## **1.5 Justificación**

### **Social**

El comercio de carbono almacenado en cultivos agroforestales sería uno de los primeros beneficios que recibirían los países en desarrollo y directamente los agricultores; a cambio de los servicios ambientales que estas darían. Esta iniciativa viene siendo apoyada por muchos gobiernos resultando ser para los países industrializados el mecanismo más fácil con el cual podrían cumplir sus compromisos de reducir sus emisiones.

Se requiere realizar gestiones de estado para promover políticas que incluyan lineamientos de proyectos de captura de carbono consideradas para mitigar las concentraciones de carbono de la atmosfera.

“En este tipo de proyectos no solo entrarían plantaciones de gran extensión, como son las de tipo comercial, sino también plantaciones en pequeños predios e incluso podrían participar programas de reforestación urbana que son de una envergadura mucho menor, también se lograría la recuperación de áreas fuertemente degradadas mediante técnicas de manejo se podría obtener adicionalidad de carbono”.

### **Económica.**

A partir del protocolo de Kyoto, se establecieron “compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de los GEI por parte de los países industrializados, empleando el mecanismo de flexibilidad existente; siendo uno de ellos el proyecto llamado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales con fines de captura de carbono (CONAM 2001), estas a su vez pueden beneficiarse

ambientalmente mediante el secuestro de carbono, disminuyendo la presión de los bosques naturales, regulando el clima; mejorando la calidad de agua, el paisaje y la biodiversidad. También previniendo desastres naturales, realizando funciones de refugio de especies animales y generando socialmente empleos y produciendo bienes con servicios, entre otros”.

### **Ambiental.**

“La deforestación, incendios forestales liberan CO<sub>2</sub> a la atmosfera, debido a que los arboles fijan dióxido de carbono a través de la fotosíntesis y lo almacenan en su biomasa. Al reducir la extensión de bosques se reducen también la capacidad para absorber las emisiones globales de los gases de efecto invernadero, que cada año aumentan más así mismo traen consigo otros efectos globales, como la perdida irrecuperable de especies biológicas perturbación en el hábitat de mamíferos, aves y otros animales que utilizan estos bosques como refugio o lugar de nidificación y como fuente de alimentación.

Los bosques tropicales son importantes porque presentan servicios ambientales, así como el control de erosión la protección del agua para consumo humano, permanencia de la biodiversidad belleza escénica, captura de carbono, etc.”

## CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes

“Se buscó información relacionada al tema en diversas fuentes de carácter estatal, institucional, personal y organizacional, encontrando abundante material de trabajos efectuados en México, Estados Unidos, Holanda, Canadá, Suiza, Italia, España, Francia, Chile, Argentina, Venezuela, Colombia, Bolivia, Brasil, Costa Rica, Guatemala y Perú entre los principales países que han desarrollado experiencias sobre la problemática del cambio climático y sus riesgos ambientales, manejo, medidas de mitigación y adaptación, así como el desarrollo de metodologías para la captura del carbono. Dicha información ha sido producida también por organizaciones ligadas a la problemática ambiental, específicamente relacionadas al cambio climático como la FAO, IPCC, Banco Mundial, PNUMA, CAEMA (Centro Andino para la Economía del Medio Ambiente), CMNCO-1997 (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Kyoto-1997), CONAM-Perú, CEPAL, CATIE (Turrialba-Costa Rica), EPA, CMCC, Universidad Autónoma de México y Universidad Autónoma de Chapingo-México entre otros. La basta información en referencia se puede encontrar en bibliotecas especializadas de la UNASAM, CONAM, UNALM, UNCP, PRONAMACHCS, FONDEBOSQUE, etc, y en diversas páginas electrónicas de internet”.

“Para el desarrollo del presente trabajo de tesis, además de la información que permitió el conocimiento de diversas metodologías de cuantificación del carbono orgánico en la biomasa y en el suelo de sistemas agroforestales, sirvieron de soporte y base comparativa del trabajo que me eh propuesto desarrolla”.

“Es preciso detallar que los estudios realizados en las distintas instituciones y países antes mencionados no se realizaron estudios de captura de carbono en

la especie *Theobroma grandiflorum* lo cual me incentivó a realizar dichos estudios y comparar los resultados de captura de carbono con la especie *Theobroma cacao*.

Finalmente, hacer mención especial al “Manual de Monitoreo de Carbono en Sistemas Agroforestales” desarrollado por Delgado y Quechulpa (2006), dado que gran parte de la metodología utilizada en el trabajo de tesis fue la aplicación de dicho manual, además de otras complementarias”.

### **2.1.1. Antecedentes Nivel Internacional**

Cerda et al. (2013), determinaron “El carbono almacenado en sistemas agroforestales orgánicos de cacao (*Theobroma cacao*) manejados por familias indígenas de la etnia bribri en Talamanca, Costa Rica. Se midieron en todos los compartimentos: suelo, hojarasca, raíces, necromasas y biomasa aérea, mediante metodologías aceptadas por el IPCC. También se calcularon las tasas de acumulación de carbono y su valor monetario. Se analizaron las correlaciones de variables de sitio (topografía y suelos) y composición del dosel (riqueza, abundancia, áreas basales y biomasas) con los contenidos de carbono y se hicieron análisis de conglomerados con las mismas variables para indagar qué grupos de SAF y con qué características almacenan más carbono. Los SAF-cacao de Talamanca registraron un promedio de carbono total de  $122 \pm 24$  tC/ha, considerado como un nivel de intermedio a alto.

El 43% del carbono se almacenó en la biomasa aérea y el 41% en suelo. La tasa de acumulación de carbono en biomasa aérea fue  $3,0 \pm 1,9$  tC/ha, con un valor monetario de 54 US\$ ha. La capacidad de almacenar carbono está especialmente correlacionada con el área basal de los árboles maderables y frutales, esto se evidenció con los análisis de correlación y los conglomerados formados, pues los grupos de SAF-cacao con mayores áreas basales fueron los que más carbono total y en biomasa aérea registraron”.

Ortiz et al. (2008), En plantaciones de *Theobroma cacao* de 10 años de edad, en Costa Rica – Talamanca. Estimaron biomasa en 47 tb/ha y 43 tC/ha para los componentes de suelo hojarasca, biomasa y necromasa.

Andrade et al. (2011), en su estudio realizado en plantaciones de *Theobroma cacao* en Ecuador para el cálculo de biomasa en plantaciones logro hallar valores promedios de 45 tb/ha, en la densidad de siembra de 6x6 para un sistema agroforestal de 8 años resultando en ella con un promedio de 35 tC/ha de carbono almacenado.

Ortiz y Riascos (2006), determinaron “Almacenamiento y Fijación De Carbono del Sistema Agroforestal Cacao *Theobroma cacao* L y Laurel *Cordia Alliodora* (Ruiz y Pavón), en La Reserva Indígena De Talamanca, Costa Rica. La cantidad promedio de carbono almacenado en el sistema agroforestal con cacao y laurel (SAF-CL) fue de 126,4 tC/ha en valle y de 114,5 tC/ha en loma bajo la densidad 6x6 m. El carbono promedio almacenado en las densidades 9x9 m y 12x12 m, fue de 109,7 y 97,9 tC/ha, respectivamente, en un período de 25 años. La tasa de fijación promedio en los SAF-CL de la Reserva Indígena de Talamanca, fue de 5,1 tC/ha, en el mismo período de tiempo. No se encontraron diferencias significativas en el almacenamiento de carbono entre sitios a iguales densidades de siembra, a excepción de la densidad 6x6 m, pero si entre sitios con diferentes densidades de siembra a excepción de 12x12 m valle - 9x9 m loma, 9x9 m loma - 6x6 m loma y 9x9 m valle - 6x6 m loma en un período de 25 años, en el caso del carbono fijado, no se encontraron diferencias”.

William et al. (2013), realizaron estudios en Venezuela en el estado de Carabobo obtuvieron un total de 50 tb/ha en la especie *Theobroma cacao*. Las mismas que fueron difundidas en la COP 21(París -2015)

Soto Pinto et al. (2000), “En Chiapas y Oaxaca, México, cuatro organizaciones de productores Pajal Yak’actic, UREAFA, CEPSCO y CODESMAC en conjunto con El Colegio de la Frontera Sur y la Universidad de Edimburgo, han desarrollado una experiencia piloto de captura de carbono. Se diseñaron sistemas agroforestales con fines de uso múltiple y captura de carbono en 24 comunidades campesinas, mediante una metodología de investigación participativa. Los sistemas preferidos por los productores fueron: sistemas rotacionales de maíz con árboles, café con sombra, plantaciones diversificadas de maderables, sistemas silvopastoriles y sistemas de regeneración natural”.

Tabla 01. Sistemas silvícolas y agroforestales y la captura de carbono en tres niveles de producción

Sistema	Nivel de Producción					
	I		II		III	
	Acumulación Neta (tC/ha)	Acumulación Neta (tC/ha)	Acumulación Neta (tC/ha)	Acumulación Neta (tC/ha)	Acumulación neta (tC/ha)	Acumulación Neta (tC/ha)
<b>Zona tropical</b>						
Cerco vivo	65,6	1,66	92,3	2,19	118,9	2,72
Café con árboles de sombra	84,5	2,11	115,9	2,76	147,2	3,41
Taungya	214,6	4,71	276,8	6,0	338,9	7,23
Barbecho mejorado	214,6	4,71	276,8	6,0	338,9	7,23
<b>Zona subtropical</b>						
Cerco vivo	26,7	0,96	39,1	1,25	51,5	1,54
Plantación en potreros	92,5	2,58	121,4	3,27	150,4	3,97
Taungya	94,5	2,61	123,9	3,31	153,3	4,01
Barbecho mejorado	94,5	2,61	123,9	3,31	153,3	4,01

Fuente: Jong et al. (1997).

Petteri Seppänen (2002), “estimó que en el sur-este de México la reforestación de pastizales con eucaliptos de alta productividad (40 m<sup>3</sup>/ha) genera una captura neta de CO<sub>2</sub> entre 320 y 610 t en un periodo de siete años, la cual en el futuro mercado internacional del carbono tiene un valor de US\$ 320 a US\$ 980. Para compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> generados por la deforestación en el sur-este de México, se necesita establecer anualmente entre 27 000 y 50 000 hectáreas de plantaciones de rápido crecimiento. Las empresas que realizan reforestación deben considerar la venta de bonos de carbono como producto complementario en sus proyectos. Difícilmente un proyecto productivo puede basarse solamente en la captura de carbono. Si se obtiene un buen precio para el carbono fijado en la biomasa de la plantación, su impacto financiero es considerable pero no debe ser decisivo para el proyecto. Si el precio del carbono es US\$ 5,00 t de carbono (C), es factible pensar que a través de venta de bonos de carbono se puede financiar alrededor de 20% de los costos totales de reforestación comercial y aproximadamente 40% de los costos operativos. Sin embargo, solamente plantaciones de alta productividad (orden de 40 m<sup>3</sup> ha) pueden llegar a obtener este nivel de beneficio financiero de la venta de bonos de carbono”.

Roncal et al. (2008), “evaluaron reservorios de carbono (C) en cultivos de maíz tradicionales y en sistemas agroforestales (taungya, barbechos o acahuals naturales y enriquecidos), y explorar su relación con la edad y su complejidad funcional y estructural. En el marco del proyecto Scolel'te, se realizaron inventarios en 25 parcelas circulares en cuatro comunidades indígenas del municipio de Chilón, Chiapas, México, usando métodos destructivos para la estimación de carbono (C), a excepción de árboles, juveniles y raíces gruesas, para los cuales se emplearon fórmulas alométricas. Una mayor complejidad de los sistemas derivó en mayor acumulación de carbono. Taungya, milpa, barbecho enriquecido y natural presentaron 109,4; 127,9; 150,1 y 177,6 Mg carbono C/ha, respectivamente. La materia orgánica del suelo fue el mayor reservorio (70% del C total en todos los sistemas); la biomasa viva y materia orgánica muerta



aportaron un tercio del carbono (C) total. El carbono (C) total mostró incremento con la edad del sistema en taungya y barbecho natural, mientras que en la milpa se encontró una relación negativa entre materia muerta y edad. Los sistemas taungya y barbecho enriquecido pueden reducir los ciclos de roza-tumba-quema, ofrecer el servicio ambiental de captura de carbono (C) y producir bienes para la población local”.

Callo-Concha *et al.* (2004), “compararon en la zona citrícola de Veracruz la capacidad de secuestro de carbono de tres sumideros: arbóreo, herbáceo y hojarasca, de los sistemas agroforestales de mayor importancia biofísica y socioeconómica: Cítricos + plátano, cítricos + caf + plátano, cítricos+caf, Cítricos+pelibuey, Cítricos+cobertura y el control pastura. Usaron un BCR (Completely Randomized Blocks) con control de repeticiones. Sumo más carbono arbóreo Ci+Pe con 73,38 tC/ha, no existe diferencia estadística ( $p < 0,05$ ) entre los demás sistemas. Como Sumidero herbáceo, P es superior ( $p < 0,05$ ). Y más hojarasca Ci+PI y Ci+Pe ( $p < 0,05$ ). Existe un ajuste Del 99% entre la sumatoria de aportes y el arbóreo. Y los aportes de los sumideros inferiores, a excepción de P, oscilan entre 2 y 5%”.

Corral *et al.* (2006), “precisaron que los Sistemas Agroforestales de café y cacao, tienen una capacidad de captura y/o almacenamiento de carbono de 115 y 121 tC/ha, respectivamente. Esta situación, a nivel de la biomasa aérea, resulta semejante a la captura de carbono en los bosques secundarios del trópico. Los sistemas agroforestales en base del cultivo de café, tienen un potencial de fijación de carbono de 187,5 tC/ha (carbono del suelo + carbono de biomasa aérea), a los 6,5 años después de su plantación. En el caso de los sistemas agroforestales con cacao, se determinó 196,7 tC/ha; a la misma edad. Por estas consideraciones, al contribuir a la fijación de carbono atmosférico, deberían ser incluidos en los planes de pago por servicios ambientales, dentro de las propuestas de Mecanismo de Desarrollo Limpio”.

Andrade et al. (2013), “estimaron el almacenamiento y la fijación de carbono en biomasa arriba del suelo y necromasa de cacaotales de 18 y 35 años de edad en el Centro Universitario Regional del Norte, en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia) CURDN. Los cacaotales estudiados almacenaron 28,8 y 33,6 tC/ha en biomasa arriba del suelo a los 18 y 35 años, respectivamente, que arrojaron una tasa de fijación promedio de 1,1 tC/ha. El carbono almacenado en necromasa ascendió a 4,4 t ha, con diferencias leves entre las edades de las plantaciones. Los sistemas agroforestales con cacao en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia) tienen potencial para mitigar el cambio climático al capturar carbono en biomasa y necromasa”.

Gilabert et al. (2007) “Analizó a gran escala las plantaciones chilenas de la especie *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* en un régimen de patrimonio forestal regulado, considerando las plantaciones a forestar bajo el DL-701 hasta el año 2010 (asumiendo una tasa de forestación futura equivalente al promedio del período 2003-2005), la superficie considerada incrementa a 1 282 140 hectáreas (870 864 hectáreas de pino radiata y 411 276 hectáreas de eucaliptos). En este escenario, el inventario de carbono se aproxima a los 44,5 millones de toneladas (73,3% en plantaciones de pino radiata, 19,6% en plantaciones de *Eucalyptus globulus* y 7,1% en plantaciones de *Eucalyptus nitens*). Las cerca de 44,5 millones de tC a nivel nacional, correspondientes a un régimen de PFR, representan cerca de 163 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>”.

Gutiérrez y Lopera (2001), “establecieron 44 parcelas en plantaciones con y sin entresaca de *Pinus patula* entre 6,5 y 29,6 años para el sitio promedio. En cada una se apeó un árbol aproximadamente igual y morfológicamente representativo del lugar. En todas las parcelas se evaluó el Carbono (C) en: componentes de los árboles de la especie plantada (madera, corteza, ramas, acículas y conos), las raíces fueron calculadas de otros estudios, hojarasca fina, necromasa, otras especies diferentes de *Pinus patula* creciendo dentro de la plantación y suelos.

El C total de *Pinus patula* en plantaciones sin entresaca fluctuó entre 48,6 y 287,1 tC/ha y en aquellas con entresaca entre 76,3 y 223,3 tC/ha. El C en la madera representó el 56,3% y 54,2% del total en plantaciones sin y con entresaca respectivamente. El C promedio en el suelo hasta 50 cm fue de 213,18 tC/ha, con un 65,4% localizado en los primeros 25 cm. El Carbono total en la plantación (CT) incluyendo todos los componentes y los suelos, osciló entre 234,4 y 543,6 tC/ha para rodales sin entresaca y entre 196,9 y 483,6 tC/ha para los manejados, con un 58,9% y 53,4%, respectivamente, representado en los suelos. El C en *P. Patula* fue el segundo componente con mayor porcentaje del CT, con un 34,5% para plantaciones sin entresaca y 39,53% con entresaca. Los resultados obtenidos concuerdan con la mayoría de estudios revisados, validando así la metodología empleada”.

### **2.1.2. Antecedentes Nivel Nacional**

Concha et al. (2007), “Evaluaron la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) asociado con especies forestales maderables y frutales; con el propósito de conocer el potencial de captura de carbono por cada sistema. El estudio se realizó en dos diferentes sitios ubicados en la región San Martín (provincias de San Martín y Mariscal Cáceres). Los sistemas agroforestales estimados presentaron edades de 5, 12 y 20 años. En cada sistema se establecieron aleatoriamente cinco cuadrantes de 100 m<sup>2</sup> cada uno, evaluándose la biomasa vegetal total existente. Para evaluar la ecuación alométrica del cacao, se muestrearon 7 plantas cuyas edades variaron de 01 hasta 22 años. Los resultados en captura de carbono en cada sistema agroforestal varían desde 26,2 tC/ha para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45,07 tC/ha del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años; Así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12,09 t/ha hasta 35,5 t/ha, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t/ha hasta 9,97 t/ha ; mientras la biomasa de árboles muertos

en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos. Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representan el 66,7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 tC/ha, mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 tC/ha. Los sistemas agroforestales de 5 años ubicados en Juanjui y Pachiza presentaron el mayor flujo de carbono anual, generando el mayor beneficio económico con créditos por CO equivalente”.

Hidalgo (2006), “ha determinado la existencia de 195,436 tC/ha en el sistema de uso forestal de la tierra, distribuido de la siguiente manera: 71,693 tC/ha en la biomasa vegetal total (71,768 tC/ha en la biomasa arbórea, 0,492 tC/ha en la biomasa arbustiva/herbácea, 2,889 tC/ha en la biomasa de la hojarasca y 16,544 tC/ha en la biomasa subterránea) y 123,743 tC/ha en el suelo. Las 230 hectáreas de plantaciones forestales establecidas con *Eucalyptus globulus labill* en el ámbito de la Comunidad Campesina Siete Imperios (Carhuaz - Perú), contemporáneas e idénticas al bosque evaluado, muestran un saldo positivo de 44 950,28 toneladas de carbono almacenado”.

Yquise et al. (2008), estimaron “El carbono almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, Perú los objetivos fueron determinar el carbono almacenado en diferentes SUT, en los sectores de Los Milagros, Aucayacu, 7 de octubre – Pucayacu y Maronilla en el distrito de José Crespo y Castillo. Los SUT evaluados fueron: sistema silvopastoril *Paspalum conjugatum* Berg. con especies forestales de 10 años de edad; sistema agroforestal *Theobroma cacao* L. con especies forestales de 3, 6, 7, 8 y 25 años de edad; bosque secundario de 6 y 12 años de edad; y bosque primario. El carbono almacenado se estimó mediante la metodología de Arévalo et al. (2003). El carbono total almacenado varía desde 72,03 tC/ha para el sistema agroforestal *Theobroma cacao* L. asociado a *Guazuma crinita* C. Martius de 3 años en el sector Maronilla, hasta 337,46 tC/ha en el sistema de bosque

primario en el sector 7 de Octubre-Pucayacu. El mayor valor de carbono retenido se encuentra en la biomasa vegetal de bosques primarios, llegando hasta 207,10 tC/ha (61,37 %) en el sector 7 de octubre-Pucayacu; mientras que, en el suelo el valor máximo de carbono es de 131,89 tC/ha (39,44 %) en bosque primario del sector Aucayacu. Los SUT de 3 a 10 años de edad los mayores aportes de carbono corresponden al edáfico, superando el 50% del total. Los aportes de carbono en fuentes de biomasa no arbórea (arbustiva, herbácea y hojarasca), es en pequeñas cantidades. El carbono almacenado en los bosques primarios es mayor que en los sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles y bosques secundarios. La producción de carbono está en función de la edad de los SUT y el tipo de asociación entre las especies agrícolas y forestales”.

### **2.1.3 Antecedentes a nivel local**

Vallenas y Parillo (2007), “evaluaron en el sector la Novia un área de 2 804,11 hectáreas determinando el secuestro de carbono de la especie *Dipterix mycrantha*, *Manilkara bidentata* y *Myroxylon balsamun* pertenecientes al tipo de bosque terraza alta aluviales. Seleccionaron 10 parcelas al azar de 30 hectáreas cada una, la biomasa promedio cuantificada para el área evaluada es de 6 020 tb/ha para *Dipterix mycranta*, para *Manikara bidentata* es de 2 554 t hay para *Myroxylon balsamun* es de 1 071 tb/ha. Carbono almacenado promedio por hectárea para *Dipterix mycrantha* es de 3 841 tC; para *Manilkara bidentata* 1 586 tC; y para *Myroxylon balsamun* 0,634 tc”.

Pillaca y Flores (2014), “Determinaron Stock de Carbono en la comunidad Nativa Puerto Arturo, del departamento de Madre de Dios. Instalaron parcelas anidadas de muestreo de 1 225 m<sup>2</sup>, con el objetivo de cuantificar el stock de carbono en la vegetación mixta de la comunidad, considerando así para el componente de biomasa aérea viva 4 subcomponentes: individuos <5, 5 -<20, 20-50 y >50cm Dap, y para el componente necromasa 3 subcomponentes; madera muerta caída,

madera muerta en pie y hojarasca. Los resultados obtenidos de contenido de carbono promedio son; (1) Bosque Semicaducifolios densos en planicies 161,38 Mg C/ha, (2) Complejo de chacras y purmas (B) 150,37 Mg C/ha,(3) Complejo de chacras y purmas (A) 47,83 Mg C/ha, (4) Comunidades pantanosas de palmeras *Mauritia flexuosa* o Aguajales 121,72 Mg C/ha, (5) Comunidades sucesionales de orillas de aguas blancas 81,42 Mg C/hay (6) Comunidades pantanosas arbóreas renacales y palmeras 68,31 Mg C/ha, obteniéndose un promedio de 136,98 Mg C/ha, consolidándose en un reservorio de 517 972,11 Mg C, en 3 781,5 ha, siendo la necromasa la responsable del 10,38% (53 740,99 Mg C), y la biomasa aérea del 89,62% (464 231,11 Mg C). El bosque semicaducifolio densos en planicies de mayor fue la mayor área (2 011,5 ha), con 324 615,87 Mg C de carbono almacenado, representado el 63% del total. Este reservorio podría ser ofertado al mercado voluntario de carbono y este ingreso promovería la conservación de los bosques. La cantidad de carbono equivalente que evitaríamos liberar a la atmosfera, si la vegetación mixta de la comunidad nativa de Puerto Arturo se conservase, sería en promedio de 502,7 tCO<sub>2</sub>-equi/ha”.

Chulla (2009), cuantificó el carbono secuestrado por la cubierta de los frutos (cocos) de castaña (*Bertholletia excelsa*), para una eventual compensación por la mantención y valorización de los bosques maduros. Resultando valores para cada coco desde 27,98 g hasta 168,17 g, con una media de 64 g, que corresponde al 27,48% de la masa total del coco. Este estudio se realizó en una concesión castañera del departamento de Madre de Dios.

Asner *et al.* (2010), “estimaron el stock de carbono encima del suelo (AGC) o aéreo en la selva amazónica del departamento de Madre de Dios, Perú mediante la aplicación de tecnologías LiDAR basado en tipo de vegetación e información de satélite, con el que desarrolló un mapa de stock de carbono aéreo de 0,1 hectáreas de resolución en un área de 4,3 millones de hectáreas, como un procedimiento de la cartografía a escala nacional de REDD. Para ello utilizaron

información de parcelas de campo del proyecto RAINFOR (individuos con DAP  $\geq$  10 cm), El stock de carbono estimado fue de 395 t (millones de toneladas), y las tres principales fuentes de variación de carbono en los bosques estuvieron mediadas por el sustrato geológico, estas son: Sustratos terciarios ubicados hacia el norte con densidades de carbono 85 - 100 tC/ha, superficies planas aluviales del Holoceno ubicados hacia el centro-este con densidades de carbono 110 - 125 tC/ha y superficies del Cretácico ubicados hacia el suroeste con densidades de carbono de 65 - 80 tC/ha”.

Cáceres (2014), “determinó Stock de carbono en bosque de terraza Alta, sector Loboyoc km 16 Fundo el Bosque – UNAMAD (Madre de Dios - Perú) realizó un inventario de la biomasa aérea y sub componentes, en 10 parcelas rectangulares de diseño anidado de 10 x 100 m, Los valores de biomasa aérea (toneladas de biomasa por hectárea – tb/ha) hallados en el fundo El Bosque resultaron ser una mínima de 276,53 tb/hay una máxima de 345,50 tb/ha, con un promedio de 305,70 tb/ha. Así mismo determinó el Stock de carbono (toneladas de Carbono por hectárea – tC/ha) encontrando un valor mínimo de 138,37 tC/hay una máxima de 171,08 tC/ha, con un promedio de 150,88 tC/ha”.

“Diferentes autores como: Schneider (1989); Houghton y Woodwell (1989); Lasof y Ahuja (1994); Dixon et al. (1994); Masera et al. (1995); Schimel (1995); Ordóñez (1998) y (1999), afirman que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es uno de los GEI más importantes y que su emisión a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución de las zonas tropicales. La deforestación mundial anual se calcula en 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación anual de cerca de 1,8 GtC (1GtC = mil millones de toneladas de carbono); lo que representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales (IPCC 1992 y 1995); (Montoya et al. 1995)”.

“El incremento en la atmósfera de los llamados gases de invernadero y el consecuente cambio climático tendrán efectos importantes en el siglo XXI. Si bien los escenarios exactos todavía son inciertos, son de esperar serios efectos negativos, aunque se esperan también algunos efectos positivos, por lo que es importante que sean tomadas un cierto número de medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa. Para ello, deben ser desarrolladas nuevas estrategias y políticas apropiadas para el manejo de la agricultura y los bosques. Una opción se basa en la captura de carbono en los suelos o en las biomásas terrestres, sobre todo en las tierras usadas para la agricultura o la forestación. A partir del Protocolo de Kyoto esto se conoce como Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Forestación (LULUCF) y concierne los artículos 1,3 y 1,4 del Protocolo (IPPC 2000). Por tal razón, el cambio climático resulta ser en estos tiempos uno de los temas más relevantes de la agenda ambiental internacional, ya que se trata de uno de los retos más grandes que enfrenta el hombre respecto a su bienestar y calidad de vida”.

No obstante, “los países en vías de desarrollo como el Perú carecemos de capacidad institucional y recursos para hacer frente a las actividades de investigación, planificación y gestión que el cambio climático exige, y han expresado su preocupación por el hecho de que las economías más prósperas del mundo no sólo no vienen cumpliendo las metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a los niveles de 1990, según lo contemplado por el artículo 4 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, sino que en el futuro los países en desarrollo no podremos controlar el aumento de emisiones si no se produce una efectiva transferencia tecnológica en términos de un crecimiento económico que no perjudique el clima mundial de la manera en que los países industrializados lo han hecho en el pasado”.



“Como una alternativa a la amenaza global del cambio climático, el estudio está orientado a producir experiencias locales que permita a la región contribuir a la mitigación del fenómeno a través de los mecanismos de mercado que se establezcan, ya que se trata de uno de los problemas ecológicos más severos que afectaría no sólo al hombre, sino a las otras formas de vida con repercusiones graves para los ecosistemas naturales, coadyuvando con ello a la pérdida y degradación de la riqueza biótica del planeta, la erosión de los suelos, cambios en los patrones de precipitación y evapotranspiración, contaminación de mantos acuíferos y otros fenómenos no menos importantes (Bolin 1986; Wilson 1999; Cherrill y McClean 1995; Krysanova et al. 1998; Mander et al. 1998)”.

“Las causas que más impacto tienen en la deforestación son el cambio de uso de la tierra, conversión a praderas y cultivos agrícolas, así como los incendios forestales, la explotación forestal insostenible y otros. Es por ello que el cambio de uso de la tierra ocupa el segundo lugar entre las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero” (Ordóñez 1998).

“A pesar de ser actualmente fuentes netas de emisión de GEI, los bosques tienen la posibilidad de mitigarlos por medio de la captura de carbono en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como sumideros (Ordóñez 1999). En efecto, la vegetación asimila dióxido de carbono atmosférico, por medio de la fotosíntesis. Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes volúmenes de carbono durante toda su vida, en consecuencia, los bosques del mundo capturan y almacenan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie terrestre” (Brown et al. 1993).

“Estimar con precisión la dinámica de los flujos netos de carbono entre los bosques y la atmósfera (es decir, el balance emisión – captura) es uno de los problemas abiertos más importantes en la discusión del cambio climático (IPCC 1990) debido

al complejo ciclo biogeoquímico del carbono en los ecosistemas forestales. En efecto, los procesos de captura – emisión son parte de un sistema de cuatro tipos generales de reservorios de carbono: vegetación aérea y radicular, materia orgánica en descomposición, suelos y productos forestales con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes. Estos reservorios se encuentran estrechamente interrelacionados, lo que obliga a efectuar un enfoque sistémico conocido como método del sistema total del carbono (Apps et al. 1993; Dixon et al. 1994) y la aplicación de modelos matemáticos de simulación”.

“Las plantas utilizan  $\text{CO}_2$  y liberan  $\text{O}_2$  durante el proceso de la fotosíntesis; así mismo, almacenan componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono. Por otro lado, es conocido que la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos como la densidad de población de cada estrato y por comunidad vegetal (Alegre et al. 2002)”.

“En el presente estudio de investigación, se precisa que para la medición de la cantidad de biomasa aérea y su posterior análisis de secuestro de carbono almacenado de la especie *Theobroma grandiflorum* o copoazú en cualquier sistema de uso de la tierra (plantaciones), se requiere primero realizar inicialmente un análisis destructivo directo o estimaciones indirectas del material vegetal y realizar las inferencias respectivas y segundo las estimaciones de la biomasa total, determinándose el tamaño y diámetro de los árboles, a fin de poder encontrar funciones matemáticas basadas en las relaciones alométricas que ocurren entre los órganos de un individuo” (Alegre et al. 2002).

## 2.2. Marco Teórico

### 2.2.1. Modelos Utilizados Para Estimar Biomasa Aérea.

Tabla 02. Ecuaciones alométrica para la estimación de Biomasa Aérea

Tipo	País	Especie	Modelo	R2 Ajustado	Fuente
Plantación pura	Costa Rica	Tectona grandis	$B=10^{-0,82+2,38*\log(\text{dap})}$	0,97	Pérez y Kanninen (2003)
Sistemas agroforestales	Costa Rica	<i>Frutales</i>	$B=10^{-1,11+2,64*\log(\text{dap})}$	0,95	Andrade et ál. (en preparación)
		<i>Theobroma cacao</i>	$B=10^{-1,625+2,63*\log(\text{dap})}$	0,98	
		<i>Cordia alliodora</i>	$B=10^{-0,51+2,08*\log(\text{dap})}$	0,92	
		<i>Latizales (dap&lt;10cm)</i>	$B=10^{-1,27+2,20*\log(\text{dap})}$	0,88	
Sistemas agroforestales	Nicaragua	Coffea arabica	$B=10^{1,0+2*\log(\text{d15})+0,54*\log(\text{h})}$ $B=10^{-1,2+2,1*\log(\text{d15})}$	0,95 0,94	Segura et ál. (2006)
		Inga punctata, Inga tonduzii Cordia alliodora, Junglans Olanchana	$B=10^{-1,0+2,3*\log(\text{dap})}$	0,94	

Fuente: Cerda et al (2013).

Notas: R2 ajustado = coeficiente de determinación ajustado; B = biomasa aérea total (kg árbol<sup>-1</sup>); dap = diámetro a la altura de pecho (cm); h = altura total (m); log = logaritmo base 10; dcm = diámetro cuadrático medio a una altura de 30 cm; d30 = diámetro del tronco a 30 cm de altura (cm); d15= diámetro del tronco a 15 cm de altura (cm); ln = logaritmo natural (base e).

### **2.2.2. Reservas de Carbono.**

“La foresta de los trópicos húmedos contiene las concentraciones más grandes de biomasa y biodiversidad en la tierra y su destrucción tiene consecuencias medio ambientales directas en todo el mundo. Esta foresta es actualmente la más extensa en la cuenca Amazónica de Sudamérica. Cuando estos bosques son destruidos con las quemas y convertidas para otros usos gran parte del carbón que está almacenado en la vegetación es perdido hacia la atmósfera principalmente como CO<sub>2</sub>. Este proceso de pérdidas de carbono es la mayor causa de la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera seguido después de los causados por la combustión de los carburantes fósiles. Además, la foresta tropical es un importante recurso para la población creciente de los trópicos húmedos bajos” (Alegre et al. 2002).

### **2.2.3.- Carbono Almacenado.**

“El concepto de carbono almacenado se relaciona a la capacidad del bosque o de cualquier otro sistema de uso de la tierra, 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 et al. 2002).

“Las plantas tienen la capacidad de almacenar el dióxido de carbono 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 en la actualidad que una hectárea de plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 toneladas de carbono por año de la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar. Se asume que el 45 por ciento de la biomasa vegetal seca es carbono”.

#### **2.2.4.- Secuestro de Carbono.**

“Es el proceso de fijación de carbono en forma continua en cualquier sistema de uso de la tierra, como consecuencia de alguna intervención sobre áreas degradadas o en proceso de degradación. Estas intervenciones pueden ser programas de manejo de suelos con reforestación, agroforestería o conservación de suelos. Generalmente, para hacer el estimado de estos flujos de carbono que se dan en toneladas de carbono por hectárea y año (t/ha/año), se seleccionan diferentes sistemas de uso de la tierra cuyos antecedentes (tiempo de uso principalmente) son conocidos por los agricultores. Estos van desde el bosque primario, áreas quemadas para cultivos anuales o plantaciones perennes, bosques secundarios de diferentes edades, pasturas; sistemas agroforestales, barbechos mejorados y sistemas silvopastoriles” (Arévalo et al. 2002).

#### **2.2.5.- Cambio de uso de la Tierra y Pérdidas de Carbono Almacenado.**

“La deforestación incrementa el contenido de los gases que afectan el cambio climático. Los principales gases que contribuyen al efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (NO). Entre ellos, el CO es el gas de invernadero más abundante, y se estima que contribuye con el 50% del calentamiento global. 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 caso a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica” (Arévalo et al. 2002).

“El cambio de uso de la tierra se define cuando una tierra, originalmente cubierta de bosques, pasa luego a ser utilizada para fines agropecuarios, sin haber considerado una zonificación por la capacidad de uso, produciéndose, desde el punto de vista forestal, una degradación o como mínimo una deformación de la

tierra de uso forestal. Estos cambios se dan por procesos de deforestación, sin considerar su reposición; lo que conlleva a una disminución de la cantidad total de biomasa vegetal y, por ende, de la cantidad de carbono capturado por los nuevos sistemas de uso de la tierra” (Arévalo et al. 2002).

#### **2.2.6.- Ciclo Global del Carbono.**

“Está catalogado como uno de los principales ciclos biogeoquímicos debido a su papel en la regulación de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, importante gas de efecto invernadero (Gamarra 2001). Las concentraciones crecientes de CO<sub>2</sub> en la atmósfera son una contribución importante al cambio climático (Schimel et al. 1995). Los bosques desempeñan un papel primordial en el ciclo global del carbono porque almacenan grandes cantidades de este gas en la vegetación y el suelo, e intercambian con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, son fuentes netas de carbono atmosférico cuando son perturbados por causas humanas o naturales y se convierten en sumideros de carbono atmosférico durante el abandono de las tierras y su regeneración tras la perturbación. Los seres humanos tienen potencial a través de la ordenación forestal, para alterar las reservas y flujos de carbono forestal alterando con ello su papel en el ciclo del carbono y su potencial para cambiar el clima” (FAO 2000).

#### **2.2.7.- Mercado de Carbono.**

“El primer paso para el surgimiento de este mercado fue la decisión de las naciones del mundo de firmar una convención marco de cambio climático para comprometerse a estabilizar la emisión de gases de efecto invernadero. Esta convención, firmada en 1992 bajo el nombre de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, tiene como principio fundamental que los países deben tomar medidas precautorias para anticipar, prevenir o minimizar las causas del cambio climático. La falta de certeza científica absoluta

no será razón para posponer medidas para controlar daños serios o irreversibles” (Eguren 2004).

“Reuniones posteriores dieron lugar, en 1997, al Protocolo de Kyoto el cual define la arquitectura del mercado de carbono estableciendo objetivos cuantificados de reducción de emisiones para los países desarrollados, así como los mecanismos de mercado diseñados para aminorar el costo de su implementación. Uno de estos mecanismos, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), permite que proyectos de inversión elaborados en países en desarrollo puedan obtener ingresos económicos adicionales a través de la venta de créditos de carbono llamados Certificados de Emisiones Reducidas (CER), al mitigar la emisión de gases de efecto invernadero o secuestrando dióxido de carbono de la atmósfera. Latinoamérica se ha convertido en el principal proveedor de proyectos MDL en el mundo, se estima que cerca del 50% de las negociaciones del MDL son en Latinoamérica y el Caribe (LAC). Aparentemente esto se debe al apoyo institucional por parte de los gobiernos de la región a la implementación del Protocolo de Kyoto, tener sistemas de aprobación de proyectos MDL funcionando favorablemente y a la presencia de expertos locales en las instituciones de promoción del MDL. Brasil es de lejos el país más importante potencial exportador de créditos de carbono de la región con el 20% del total de créditos de carbono. Luego le siguen a distancia, Colombia, Panamá, Costa Rica y Perú con similares montos de exportación entre ellos” (Eguren 2004).

### **2.2.8.- Climatología.**

Temperatura: Tiene una máxima de 38,7°C y una mínima de 22,5°C, sin embargo, en los meses de junio, julio y agosto, la temperatura alcanza un descenso térmico de 8°C, debido a las grandes masas de aire frío proveniente de Sur Altiplánico.

Precipitación: Presenta altas precipitaciones pluviales característicos de los Bosques Subtropicales, distinguiéndose dos períodos estacionales; uno seco, entre mayo y noviembre, y otro lluvioso, entre diciembre y abril. En un registro de 10 años, se ha obtenido una máxima mensual de 695 mm, y una máxima anual de 2 791 mm. En los meses lluviosos se registran precipitaciones que varían de 366 mm a 435 mm (CORPAC – MDD 2009)

### **2.2.9.- Vegetación**

La vegetación de la Región Madre de Dios está conformada por los siguientes tipos de bosques: “Bosque húmedo de colinas altas (Bh-ca), Bosque húmedo de colinas bajas (Bh-cb), Bosque húmedo de llanura meandrica (Bh-llm), Bosque húmedo de terrazas altas (Bh-ta), Bosque humedo de terrazas bajas (Bh-tb), Bosque húmedo de terraza media (Bh-tm) y Pacales” (INRENA 2003).

### **2.2.10. Tipo de Parcelas.**

#### **a) Rectangulares.**

“En silvicultura se usan para conocer la diversidad de especies y como está compuesto verticalmente un bosque. La más utilizada es el llamado transecto que es una parcela rectangular donde podemos tomar los datos caminando en línea recta. Podemos encontrar transecto de 5, 10, 15 y hasta 20 m de ancho y 20, 50 y hasta 100 m de largo. Para evaluar carbono pueden utilizarse para medir la biomasa acumulada en leñosas en bosques naturales en conservación y en plantaciones forestales, pudiendo en este caso complementarse con muestreo de herbáceas, suelo y hojarasca” (Fig. 1).



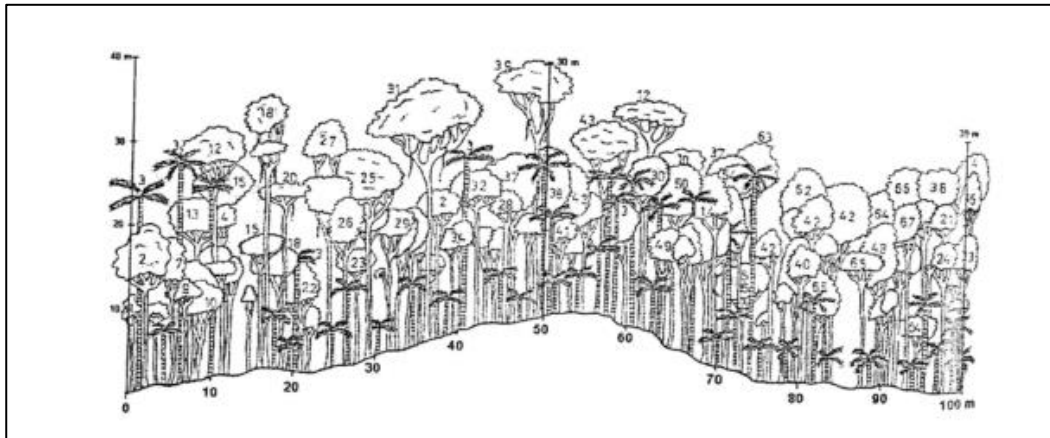


Figura 01. Diagrama de perfil de un bosque primario donde aparecen árboles con diámetro normal mayor e igual a 10 cm.

Fuente: Delgado y Quechulpa (2006).

### b) Cuadradas.

“En silvicultura se usan para describir especies, crecimiento de árboles y estudiar biodiversidad. Las hay desde 100 m<sup>2</sup> (10x10 m), 400 m<sup>2</sup> (20x20 m), 625 m<sup>2</sup> (25x25 m) hasta 1 ha y 25 ha. Para evaluar fijación de carbono en sistemas agroforestales donde los árboles tienen un arreglo en surcos o líneas esta forma de parcela puede introducir error en el muestreo” (Delgado y Quechulpa 2006).

### c) Circulares

“Son utilizadas en inventarios forestales a nivel de plantaciones homogéneas. Se recomienda usar parcelas circulares en terrenos con pendientes bajas, tienen la ventaja de que son fáciles de establecer. Pueden ser de diferentes tamaños: 100 m<sup>2</sup> (r=5,64) que puede usarse en el caso de que la vegetación sea densa y exista un gran número de tallos de diámetros pequeños, 250 m<sup>2</sup> (r=8,92) para vegetación leñosa moderadamente densa; 500 m<sup>2</sup> (r=12,62), para vegetación leñosa moderadamente esparcida y 1000 m<sup>2</sup> (r=17,84) para diámetros leñosos muy esparcidos” (Fig. 2).

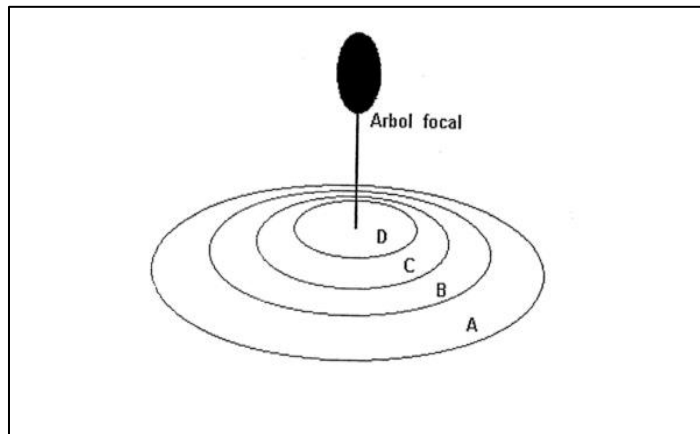


Figura 02. Parcela Circular. Diagrama de parcelas circulares concéntricas centradas por un árbol focal.

Fuente: Delgado y Quechulpa (2006).

### 2.2.11. Ciclo del carbono.

“El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y el subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos. La atmósfera es el menor y la más dinámica de los reservorios del ciclo del carbono. Mientras tanto, todos los cambios que ocurren en este reservorio tienen una estrecha relación con los cambios del ciclo global de carbono y del clima. Gran parte del carbono presente en la atmósfera ocurre en la forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , también conocido como gas carbónico). En menor proporción, el carbono atmosférico se presenta en la forma de metano ( $\text{CH}_4$ ), Perfluorocarbonos (PFCs) e Hidrofluorocarbonos (HFC). Todos estos son considerados gases del efecto invernadero (GEI), que contribuyen con el equilibrio térmico de la tierra. Cualquier actividad relacionada al uso del suelo, tiene el potencial de alterar la cantidad de carbono almacenado y emitido hacia la atmósfera, lo que influencia directamente en la dinámica del clima de la tierra” (Delgado y Quechulpa 2006)

### 2.2.12. Relación biomasa – C - CO<sub>2</sub>

“Una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas (t) de CO<sub>2</sub> (obtenido en función de los pesos moleculares del carbono y del CO<sub>2</sub>, de 12/44). Para saber la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito, se debe multiplicar ésta por 3,67. A su vez, una tonelada de biomasa posee aproximadamente 0,5 toneladas de carbono”.

1 t biomasa (tb)	+/- 0,5 tC	
1 tCarbono (tC)	3,67 t de CO <sub>2</sub>	(Ruginitz y Chacon 2009)

#### Interpretación

Es preciso entender y tener bien clara las equivalencias de Carbono (C) y no confundir con CO<sub>2</sub>. En una molécula de CO<sub>2</sub> existen dos átomos de oxígeno (con peso atómico 2 x 16 = 32) y un átomo de carbono (con peso atómico 12). Por lo tanto, el peso molecular del CO<sub>2</sub> es 44 (= 2 x 16 + 12), de los cuales solamente 12 corresponden a carbono. De lo anterior se deduce que se necesitan 44/12 = 3,667 t de CO<sub>2</sub> para tener 1 t de C.

“Las reducciones de emisiones resultantes de la actividad de proyectos forestales son contabilizadas en forma de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE’s) y negociadas en mercados internacionales de carbono”.

“Un CRE’s corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), así mismo, una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO<sub>2</sub>e (obtenido en razón de los pesos moleculares 44/12. Para saber la cantidad de CO<sub>2</sub>e almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito se debe multiplicar esta por 3,67”.

### **2.2.13.- Ecuaciones Alométricas**

“Son modelos matemáticos que permiten estimar el volumen, biomasa o carbono de árboles, arbustos y palmeras en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho (dap) y/o la altura total” (Segura 2008).

### **2.2.14.- *Theobroma grandiflorum***

“*Theobroma grandiflorum*, de nombre común copoazú, copoasu, cupuazú, cupuassu, cupu assu o cacao blanco, es originario de la Amazonia oriental y centro de Sudamérica principalmente en Bolivia y en la región norte de Brasil, es una especie de cacao amazónico, su hábitat natural es el bosque tropical húmedo en terrenos altos no inundables, pH entre 6,0 y 6,5 y una temperatura entre 22 y 27 °C. En Bolivia su utilización es industrial ya que de él se fabrican manteca, licor y otros productos de exportación. Alcanza los 14-18 m de altura, y 5-9 m de diámetro de copa; hojas simples, oblongas, coriáceas, de 22-38 cm x 6-13 cm. Inflorescencias; con 3-5 (7) flores: cada flor 5-sépalos parcialmente soldados, corola 5-pétalos, 5-estambres, ovario pentagonado, 5 lóculos. Fruto en baya drupácea, oblongo, 12-16 cm x 9-12 cm, y 0,5-2 kg (4,5 kg; epicarpio rígido, leñoso, y epidermis verdosa, con capa pulverulenta beige. 20-50 semillas, envueltas en pulpa mucilaginosa, blanca amarillenta, ácida, buen aroma. Un árbol de 5 años produce 30 frutos, y un árbol maduro (>8 años) unos 70. Hay plantas con frutos sin semillas, pero comercialmente despreciables: ácidos, y productividad baja Al igual que el cacao necesita sombra para crecer, así que es innecesario deforestar para sembrarlo (USDA, ARS, National Genetic Resources Program. GRIN. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland 2008)”.

## 2.2 Definición de Términos

**Biomasa:** “Toda materia orgánica aérea o subterránea, viva o muerta (por Ej. en los árboles, los cultivos, las gramíneas, las raíces). El término biomasa corresponde a una definición común de la biomasa por encima del suelo y de la biomasa por debajo del suelo”.

**Biomasa por encima del suelo:** “Toda la biomasa viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas”.

**Biomasa por debajo del suelo:** “Toda la biomasa viva de las raíces vivas. Las raíces pequeñas de menos de 2 mm de diámetro están excluidas porque éstas a menudo no pueden distinguirse, de manera empírica, de la materia orgánica del suelo u hojarasca”.

**Reservas de Carbono:** “La cantidad de carbono en un depósito, o sea una reserva o sistema capaz de almacenar o liberar el carbono”.

**Carbono en la biomasa por encima del suelo:** “Carbono en toda la biomasa viva por encima del suelo, incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, las semillas y las hojas”.

**Carbono en la biomasa por debajo del suelo:** “Carbono en toda la biomasa de las raíces vivas”.

**Carbono en la hojarasca:** “Carbono en toda la biomasa muerta, con un diámetro inferior al diámetro mínimo elegido por el país en cuestión para medir la madera muerta (por ejemplo 10 cm.), en varios estados de descomposición por encima del suelo mineral u orgánico. Esto incluye la hojarasca, las capas estiércol y de humus”.

**Carbono en el suelo:** “Carbono orgánico en los suelos minerales y orgánicos (incluye la turba) a una profundidad especificada por el país y aplicada de manera coherente en todas las series cronológicas”.

**Cambio climático:** “Es un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

**Captura de carbono:** “Extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono (como los océanos, los bosques o la tierra) a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis. Los seres humanos han intentado aumentar el secuestro de carbono plantando nuevos bosques”.

**Degradación:** “La degradación del suelo es un proceso que afecta negativamente la biosfera interna del suelo para soportar vida en un ecosistema, ocurre cuando el suelo pierde importantes propiedades como consecuencia de una inadecuada utilización”.

**Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>):** “Gas incoloro, inodoro e incombustible que se encuentra en baja concentración en el aire que respiramos (en torno a un 0,03% en volumen). El dióxido de carbono se genera cuando se quema cualquier sustancia que contiene carbono. También es un producto de la respiración y de la fermentación. Las plantas absorben dióxido de carbono durante la fotosíntesis”.

**Ecosistema:** “El complejo sistema formado por las comunidades de plantas, animales, hongos y microorganismos, así como por el medioambiente inerte que les rodea y sus interacciones como unidad ecológica”.

**Efecto invernadero:** “Es un fenómeno por el cual la atmósfera de la Tierra se calienta por la acción de ciertos gases y para poder profundizar sus efectos es necesario entender y conocer los factores que están incidiendo en los cambios atmosféricos”.

**Gases de efecto invernadero:** “Son aquellos componentes de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y re-emiten la radiación infrarroja aumentando la temperatura del medio ambiente”.

**Sostenibilidad:** “Es la administración exitosa de los recursos para que la agricultura satisfaga las cambiantes necesidades humanas, sin dejar de mantener y mejorar la calidad del medio ambiente y conservar los recursos naturales para beneficio de las futuras generaciones”.

**Suelo:** “Es la parte superficial de la corteza terrestre, donde se desarrollan las raíces de las plantas. No es un medio inerte y estable, sino que es el resultado de la acción del clima y de los seres vivos sobre la superficie terrestre a lo largo del tiempo, es un medio muy complejo y en permanente evolución”.

## CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

### 3.1. Tipo y Diseño del Estudio

El diseño de la investigación fue de tipo descriptiva, con ello buscamos especificar las propiedades y características de los objetos, es decir medir, evaluar o recolectar datos, con la finalidad de conocer la relación que exista entre dos o más variables (Hernández et al 2009).

### 3.2 Población y Muestra

#### 3.2.1 Forma y tamaño de la Muestra

##### Circular

Haremos uso de las parcelas circulares anidadas por ser utilizadas en inventarios forestales a nivel de plantaciones homogéneas y de fácil establecimiento de  $1\ 017,88\ m^2$  ( $r=17,85$ ) (Fig. 03).

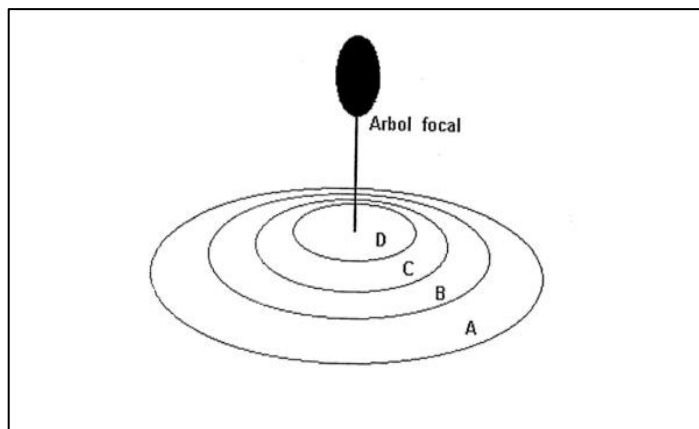


Figura 03. Parcela circular. Diagrama de parcelas circulares concéntricas centradas por un árbol focal.

Fuente: Delgado y Quechulpa (2006).



### 3.2.2 Número de Parcelas

“El nivel de precisión exigido tendrá un efecto directo sobre los costos del inventario. Usualmente, para proyectos forestales se utiliza un nivel de precisión (error de muestreo) de +/-10% de valor promedio de carbono a un nivel de confianza de 95%” (Schlegel 2001).

Para determinar el número de parcelas, se realizó un pre muestreo con un inventario de biomasa de 3 parcelas de 1 017,88 m<sup>2</sup> cada una, a ello se pudo aplicar los parámetros estadísticos tales como: promedio, Varianza, Coeficiente de variación y Desviación Estándar para luego poder determinar el número de parcelas requeridas para el presente trabajo.

“La selección del nivel de precisión está casi siempre relacionada con los recursos disponibles y con la exigencia del comprador (mercado). Usualmente, para proyectos forestales se utiliza un nivel de precisión (error de muestreo) de +/-10%, Sin embargo, proyectos del tipo MDL forestal en pequeña escala pueden utilizar un nivel de precisión de hasta +/- 20 %” (Rügnitz et al. 2009 y Emmer 2007).

Tabla 03. Cálculos preliminares

Parcelas preliminares	Volumen tC/ha	$\bar{x}$	$S^2$	S	CV
Parcela 1	$X_1= 21,25$	21,83 tC/ha	0,0296 tC/ha	0,172 tC/ha	0,78 %
Parcela 2	$X_2= 21,53$				
Parcela 3	$X_3= 22,69$				

Fuente: Elaboración propia (2017).

Una vez conocida la varianza estimada el nivel de precisión deseado y el error estimado podemos calcular el número de parcelas necesarias.

$$n = \frac{(N*S)^2}{\frac{N^2*E^2}{t^2} + N*S^2}$$

Fuente: Rüginitz et al. (2009).

Dónde:

n = número de parcelas.

E = error; el nivel de precisión recomendado es de  $\pm 10\%$  (0,1), pero puede llegar a  $\pm 20\%$  (**0,2**).

t = **1,96** G.L. muestra estadística de la distribución t de Student para un nivel de 95% de confianza.

Por medio de muestreos preliminares de biomasa arbórea aérea utilizando parcelas de 1 017,88 m<sup>2</sup>, equivalente a 0.101 ha cada una, se determinaron los siguientes valores:

Área de estudio = 2 ha.

Área de la parcela = 0,101 ha (1 017,88m<sup>2</sup>).

Promedio de Stock de Carbono = 21,83 tC/ha

Desviación estandar del estrato (S) = 0,172.

Nivel de precisión seleccionada = 20% (0,2)

Con esta información se calculó el área del estrato (N).

Área del estrato (N) (Área del estrato / tamaño de la parcela en ha) = 2/0,101=**19,80**

Finalmente, se determinación de número de parcelas para el presente estudio: **n = 2,48** la misma que interpretamos que con **2,5 parcela** podría tener los datos requeridos para estimar el stock de carbono, sin embargo, para mejorar el trabajo de investigación se decidió realizar en **3 parcelas**, de esta manera tendríamos mejor precisión al momento de los cálculos realizados.

### 3.2.3 Distribución de la Muestra

El área de estudio (AE) consta de 2 ha de plantación de *Theobroma grandiflorum* (copoazú), en ella se distribuyó al azar las 3 parcelas de muestreo de 0,101 ha cada una, donde se realizó el inventario de la especie (Figura 10, Distribución de parcelas dentro de la parcela).

Entre tanto, estas 3 parcelas de 1 017,88 m<sup>2</sup> (circular) fueron útiles para las mediciones de todos los árboles de *Theobroma grandiflorum* (copoazú) las de 1 x 1 (1m<sup>2</sup>) (Anexo 6, A) para la materia no arbórea - hierbas, hojarasca o mantillo en kg (Método Modificado de Rüginitz et al. 2009.)

### 3.3 Métodos y Técnicas

Se efectuó la medición de variables dasométricas de los individuos en pie, con la precisión posible, se midió el DAP, se midió la altura total (ht), de cada árbol. Estas variables se utilizaron para determinar el volumen, biomasa o carbono (VBC) por árbol, así mismo se efectuó el peso de la hojarasca o mantilla, las mismas que servirán para el conteo de stock de carbono.

El DAP fue medido con cinta diamétrica o cinta métrica; en este último caso, se transformó los valores de circunferencia a diámetro dividiendo entre la constante  $\pi = 3,1416$ . Las alturas se midieron con una vara de 5 m de largo, dando a ello una aproximación más certera.

“La toma de muestra es de tipo probabilístico (con la posibilidad de que puedan ser escogidas – selección aleatoria) estuvo dado por la variabilidad de volumen, biomasa o carbono (VBC) o del DAP de la población seleccionada, así como de las condiciones del sitio. Donde representa un equilibrio entre la exactitud, la precisión y el tiempo (costo) de la medición. En el caso de la medición del

componente arbóreo, el tamaño de la parcela está relacionado con la cantidad de árboles, diámetro y variancia del carbono almacenado entre las parcelas, (Walker et al. 2007 y Rüginitz et al. 2009)”.

### **3.3.1 Ubicación Geografica.**

El área de investigación se ubica en la parte sur oriental del Perú, Departamento de Madre de Dios a 10°49'25,2" latitud S y a 69°50'22.96" longitud O, km 83 carretera Puerto Maldonado – Cusco Asociación de Agricultores Agroforestales Yanaoca margen derecha ingresando por una trocha carrozable a 6 km (Anexo 4).

### **3.3.2 Información General.**

Nombre del fundo el Porvenir: Edgar Sonco Quispe.

### **3.3.3 Información Básica.**

El área de estudio consta de 2 ha de plantación de la especie *Theobroma grandiflorum* las mismas que fueron evaluadas según la metodología descrita por Marcel y Sotero (2006).

El fundo tiene como propietario al señor Edgar Sonco Quispe quien precisa, que la plantación tiene una antigüedad de 10 años, las que fueron plantadas en noviembre del 2007, Refiere que uso el distanciamiento de 6 x 6 puesto que incorporo otras especies tales como *Musa paradisiaca* “plátano”, *Schizolobium sp* “pashaco” y *Bertholletia excelsa* “castaña”, las mismas que con el tiempo fueron retiradas puesto que vio el perjuicio que le ocasionaba a la producción de *Theobroma grandiflorum* “copoasu”. La ubicación de la plantación está enmarcada en las coordenadas UTM (Tabla04 y Anexos 2 y 3).

**Tabla 04: Ubicación de la Plantación de Copoasu**

Coordenadas UTM (Zona 19, WGS84)

VERTICES	E	N
1	408 800	8 581 600
2	409 000	8 581 600
3	409 000	8 581 500
4	408 800	8 581 500

Fuente: Elaboración propia (2017).

### **Ubicación**

Departamento : Madre de Dios  
Provincia : Tambopata  
Distrito : Inambari  
Tipo de bosque : plantación Agroforestal  
Propietario : Edgar Sonco Quispe  
Sector : Asociación de agricultores Progreso Verde  
(YANAOCAS) KM 83 Margen derecha.

### **3.3.4 Delimitación del área de Estudio**

El área de estudio está delimitada por la circunscripción establecida por COFOPRI denominada El fundo “El Porvenir” comprende 30 hectáreas de las cuales 10 hectáreas son de bosque primario, 10 hectáreas de purma, 12 de cultivos agrícolas y 2 hectáreas de cultivo de *Theobroma grandiflorum*, la cual se tomó con fines de investigación.

### **3.3.5 Accesibilidad**

El medio principal de accesibilidad es terrestre, partiendo desde la ciudad de Puerto Maldonado hasta el km 83 con destino a la ciudad del Cusco por la carretera interoceánica margen derecha ingresando por un camino carrozable a 6 km.

El medio de transporte para llegar al destino, es a través de motocicleta u/o auto, con un tiempo estimado empleado desde la ciudad de Puerto Maldonado de 1 hora y 30 minutos.

### **3.3.6 Aspecto biofísico**

Según la zonificación económica ecológica Establece que es una zona agropecuaria productiva, zona para cultivo permanente, pastos, producción forestal con potencial muy alta en madera y con potencial piscícola, asociada con potencial minero aurífero.

Presenta un clima húmedo tropical de 78,64 % con una fisiografía de terraza alta fuertemente disectadas con una altitud promedio de 184 m.s.n.m. la temperatura media anual es de 25,65 °C, temperatura mínima de 21,48 y una máxima de 29,78°C, con una precipitación pluvial total de 1 954 mm.

### **3.3.7 Materiales, herramientas y equipos**

#### **a) Materiales**

- Libreta de campo
- Lapiceros
- Lápiz
- Tajador
- Estacas o jalones
- Rafia
- Formato para toma de datos
- Hoja bond A4
- Bolsas plástica
- Equipo para lluvia

- Equipo de seguridad
- Software especializado Arc Gis 10.3

**b) Herramientas**

- Machete
- SERRUCHO
- Wincha

**c) Equipos**

- Brújula BRUNTO.
- GPS Garmin Map 60 cs
- Laptop Toshiba I5
- Impresora hp
- Calculado
- Cámara fotográfica digital de 12 mega pixeles canon Balanza.

### 3.3.8 Técnica de Investigación

Se realizó en tres fases: La primera fase, de pre gabinete, donde se planificó como realizar la investigación; la segunda fase, de campo, que consistió en registrar la información necesaria como son las coordenadas UTM de la zona, el Inventario de la especie, el recojo de muestras, y la tercera fase será el período de gabinete, donde se realizará la interpretación de los datos de campo, en la figura 4 se presenta el esquema seguido por el estudio.

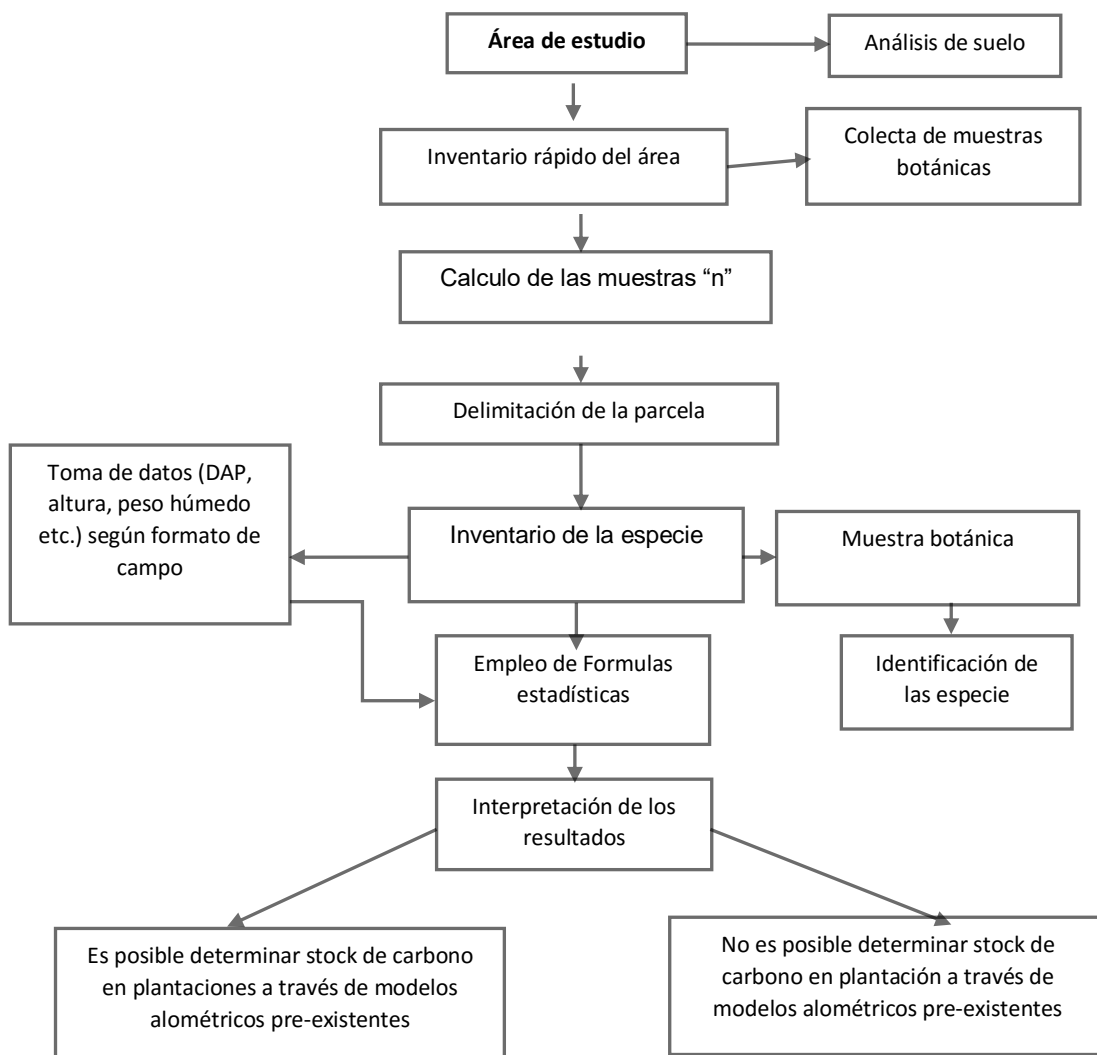


Figura 04. Resumen de la metodología utilizada para la obtención de los resultado.

Fuente: Elaboración propia (2017).



El trabajo de investigación se realizó 4 parcelas circulares de 18m de radio en las cuales se evaluaron 4 parcelas cuadradas de 1 x 1, cabe precisar que la metodología a emplear será a través de estudios similares y procedimientos operativos estándar para la determinación de Carbono Terrestre (Walker et al 2007); que de cierta manera involucran pasos a tomar en cuenta para el mejor y adecuado desarrollo.

### 3.3.9 Establecimiento del sitio

Con la información preliminar del tipo de bosque límites del área de estudio se estableció el sitio de muestreo circular de 1 017,88 m<sup>2</sup> con ocho subdivisiones para facilitar las mediciones, cuatro subparcelas cuadrada para muestreo de hojarasca, cuatro subparcelas de 1 m<sup>2</sup> para muestreo de hierbas y cuatro puntos de muestreo de suelo (Fig. 05).

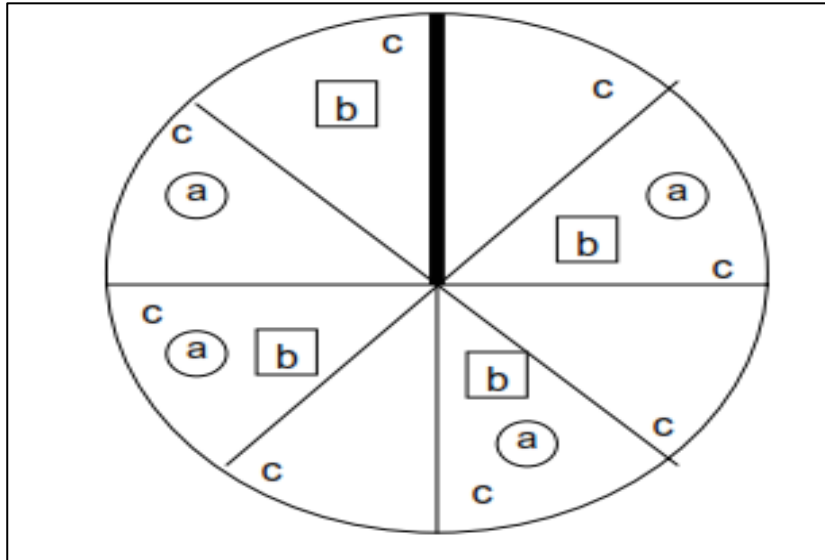


Figura 05. Esquema de parcela circular de 1 017,88 m<sup>2</sup> a) sub parcelas circulares para muestreo de hojarasca y suelo; b) subparcelas de 1m<sup>2</sup> para muestreo de hierbas; c) subdivisiones para facilitar las mediciones.

Fuente: Delgado y Quechulpa (2006).

“Para el establecimiento del sitio se ubicó al azar el centro de nuestro sitio la misma que se registró su ubicación con ayuda de un GPS. Identificamos un árbol como referencia (árbol focal) y colocamos a un lado de éste nuestra estaca central” (Delgado y Quechulpa 2006).

“Se tuvo en cuenta que nuestra unidad de muestreo no debe quedar fuera de la parcela agroforestal. Para una unidad de muestreo circular de 1 017,88 m<sup>2</sup>, requerimos una distancia del centro hacia los extremos del sitio en los cuatro puntos cardinales (norte, sur, este, oeste) de 17,85m (radio); de esta forma, de nuestra estaca central hacia los cuatro puntos cardinales debemos tener al menos una distancia de 20 metros sin salir de la parcela. Así mismo Debemos contar con estacas marcadas de tal forma que sobresalgan de la vegetación de nuestra parcela, además de un juego de 8 lazos. Podemos usar uno de los lazos de distinto color para facilitar nuestras mediciones”.

“El primer lazo se extiende en dirección a donde observemos pendiente cero (donde el terreno este más plano), verificamos con el clinómetro. Con ayuda de una cinta métrica se mide la distancia, se coloca una estaca y se sujeta el lazo. Utilizamos para esta primera línea el lazo de color diferente”.

“Colocado el lazo tomamos el rumbo o dirección en el que quedó tendido con nuestra brújula. Tomar el rumbo nos ayudará a sacar ángulos para poder extender los demás lazos y hacer subdivisiones de tamaños iguales”.

“Se extiende el segundo lazo a 180° con respecto al primero (Fig. 06). Para esto a la lectura obtenida en la brújula al extender el lazo 1 se le suma 180°. La persona al centro del sitio busca el valor obtenido con la brújula y dirige a la persona que lleva el lazo y la cinta métrica. El lazo 3 se extiende a 90° de los lazos 1 y 2 (Fig. 06). Para obtener la dirección en la brújula se suma 90 a la

lectura del lazo 1 o del lazo 2. Se orienta a la persona que lleva el lazo y la cinta desde el centro del sitio en la dirección obtenida” (Delgado y Quechulpa 2006).

El lazo 4 se extiende a  $180^\circ$  del lazo 3 con el mismo procedimiento (Fig. 6)

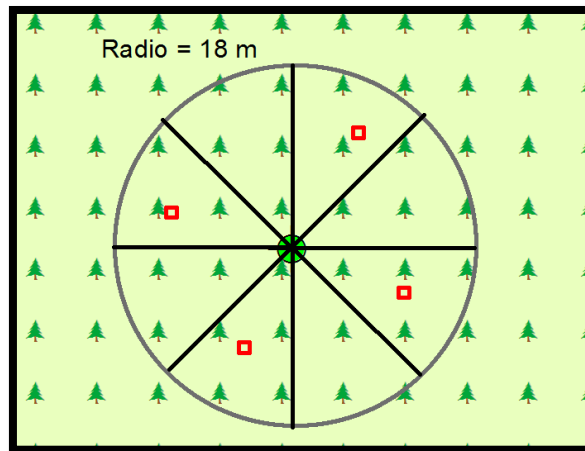


Figura 06. Procedimiento para delimitar el sitio de muestreo. Tendido de lazos.

Fuente: elaboración propia 2017.

“Hasta este momento tendremos delimitado nuestro sitio en cuatro puntos. Cada vez que un lazo se extiende en caso de existir pendiente se hace el ajuste de la distancia medida sobre el terreno”.

Para dividir nuestro sitio en 8 subdivisiones extendemos otros cuatro lazos a  $45^\circ$  de los lazos 1, 2, 3 y 4.(Figura 07) (Delgado y Quechulpa 2006)

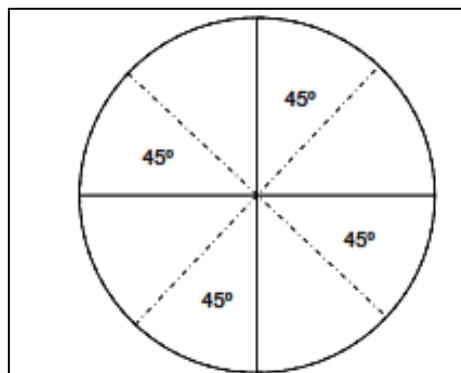


Figura 07. Sitio de muestreo con 8 subdivisiones.

Fuente: Delgado y Quechulpa (2006).

### 3.3.10 Muestreo de los Almacenes de carbono.

#### A) Muestreo de Hojarasca.

Se inició con la toma de estas muestras, para evitar que la parcela sea pisoteada demasiado y así obtener material en buenas condiciones. Dentro de nuestra parcela podemos tomar varios puntos de muestreo (Figura 08).

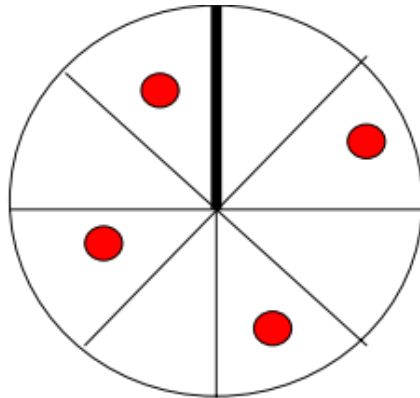


Figura 08. Puntos de muestreo de hojarasca y suelos.

Fuente: Delgado y Quechulpa (2006).

“El punto se ubicó al azar en nuestro sitio. Para delimitar el área se utilizó un área de 1 m<sup>2</sup>. Limpiamos alrededor de nuestra superficie de muestreo cuidando no extraer material del interior del área. La hojarasca interna del área de 1m<sup>2</sup> se colecta en bolsas de papel o polipapel numeradas e identificadas según un orden previamente establecido. Si bien se colecta en cuatro puntos, el material colectado no se manejó por separado, sino que se mezcló para obtener una muestra compuesta de hojarasca por sitio” (Delgado y Quechulpa 2006).

#### B) Muestreo de Suelo.

Se consideró, la cantidad de este elemento contenido en el suelo en sus primeros 30 cm. Tomando en cuenta esta profundidad se realizó los estudios de contenido de carbono en el suelo.

Dichos resultados son de mucha utilidad para el trabajo de investigación, las mismas que se adjunta el resultado de laboratorio y su posterior tabulación en los resultados.

### **C) Muestreo de Hierbas.**

“Para este componente se empleó 4 parcelas de 1 m<sup>2</sup>, los puntos de muestreo se eligieron al azar, Se marcó la parcela de tal manera que sea visible en el campo, Con ayuda de machete o tijera de podar se colecto la vegetación herbácea y los tallos menores a 2 cm de DAP, sin considerar raíces, que estén dentro de estas parcelas. Se tubo cuidado en la colecta con las hojas o ramas si su origen está dentro de la parcela de 1 m<sup>2</sup> fueron colectada; por el contrario, no colectaremos hojas y ramas que “cubran” o pasen por encima de nuestra parcela si su origen está fuera de ella. Se reunió el material colectado en las cuatro parcelas de 1 m<sup>2</sup>, se pesó este material y se registró el dato” (Delgado y Quechulpa 2006).

### **D) Tallos Leñosos.**

“Forma parte del almacén de carbono arriba del suelo junto con las hierbas y arbustos, sin embargo, es más importante que éstos por su contribución en términos de fijación de carbono. Para muestrear este almacén de carbono mediremos diámetros y alturas de los tallos leñosos de la especie *Theobroma grandiflorum* (copoazú) presentes en nuestro sitio de 1 017,88 m<sup>2</sup> ”(Delgado y Quechulpa 2006)”.

### **Medición de Diámetro.**

En inventarios forestales se considera la medición a la altura del pecho DAP (1,30), sin embargo, en el presente estudio de investigación se consideró la medición por debajo de la primera rama de la especie.

La característica propia de la especie muestra que su ramificación empieza a distancias menores del DAP, para ello consideramos que el diámetro tomado se realizó a 50 cm de altura sobre el suelo de la especie *Theobroma grandiflorum* (copoazú), para ello se hizo uso de la cinta diamétrica.

En el campo se encontró aspectos del árbol como troncos torcidos, bifurcados o inclinados, en el caso de bifurcaciones a los 50 cm de altura se procedió a promediar el diámetro, aspecto que se encontró en su mayoría de la especie *Theobroma grandiflorum* (copoazú)

### **Medición de Altura.**

“Al hacer esta medición registramos altura total. La medición de la altura es difícil de hacer en campo con precisión, se puede realizar con instrumentos como clinómetros (Anexo 1) o hipsómetros Si no contamos con este tipo de instrumentos y en el caso de sistemas agroforestales con pocos años de establecidos podemos recurrir a una vara de 3 o 5 m (marcada cada metro). Al ser poco preciso este método podemos considerar clases de 5 m o estimados al metro para nuestro análisis de datos” (Delgado y Quechulpa, 2006).

### **Materia Vegetal Muerta.**

“En este almacén de carbono consideramos los árboles muertos en pie y troncos caídos. Para árboles muertos en pie medimos diámetro y altura. Para troncos

caídos, árboles completos o secciones de árboles mayores medimos los diámetros de los extremos y la longitud” (Delgado y Quechulpa 2006).

Estadística Empleada

Promedio o Media ( $\bar{x}$ )

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Varianza ( $S^2$ )

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Desviación Estándar ( $S$ )

$$S = \sqrt{S^2}$$

Coefficiente de variación ( $CV$ )

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

Número de muestras ( $n$ )

$$n = \frac{(N \cdot S)^2}{\frac{N^2 \cdot E^2}{t^2} + N \cdot S^2}$$

Fuente: Rüginitz et al (2009).

### 3.3.11 Depósito de carbono a medir

Existe cinco tipos de depósitos de carbono que pueden ser medidos, (Rüginitz et al. 2009) las mismas que en el presente estudio fueron considerados (Tabla 05), con la finalidad de poder incluir nuestro trabajo de investigación en Reforestación (captura de carbono) a través de Plantaciones Forestales (Tabla 06, Modificado de Rüginitz et al. 2009).

**Tabla 05. Depósitos de carbono a medir.**

Tipo de Depósito		Descripción
Biomasa viva	Arboles de <i>Theobroma grandiflorum</i>	Toda la biomasa viva que se encuentra dentro de las parcelas de evaluación. comprende la medición de DAP Y Altura de todas los arboles encontradas en las parcelas de 1 017,88 m <sup>2</sup>
	Vegetación herbácea	Comprende todas las especies encontradas en las parcelas de 1 m <sup>2</sup>
Materia orgánica muerta	Hojarasca	Toda la biomasa no viva sobre el suelo (hojas, ramas y cáscaras de frutos) de las parcelas de 1 m <sup>2</sup>
Raíces	Biomasa subterránea	Comprende la estimación de raíces, de todas las especies arbóreas dominantes de la parcela 1 017,88 m <sup>2</sup> .
Suelo	Análisis de suelo	Muestra extraída en los primeros 30 cm de profundidad de un volumen de 0,3x0,3x0,3 m <sup>3</sup>

Fuente: modificado de Rüginitz et al. (2009).

“Algunas veces el costo de realizar el muestreo con el grado de precisión exigido o establecido es mayor que el retorno que se recibirá por el proyecto. Este es el caso, principalmente, de la evaluación de raíces y en algunos casos de la biomasa de la vegetación no arbórea. Siendo así, la decisión sobre cuál depósito de carbono medir dependerá del costo-beneficio de realizar los muestreos, estando de acuerdo con las exigencias del mercado en el cual se pretende negociar el proyecto. Para facilitar la decisión, se presenta en el Tabla 05, una adaptación de la matriz de decisión sobre los posibles criterios que se tomaron en cuenta para su medición recomendado por Rüginitz et al. (2009)”.



Tabla 06. Matriz de recomendaciones de depósitos de carbono a medir por tipo de proyecto.

Objetivo del proyecto	Tipo de Proyecto	Tipo de depósitos de					Suelo
		Biomasa viva			Biomasa		
		Árboles	Vegetación	Raíces	Madera	Hojas	
Reforestación (captura de	Plantaciones	O	D	O	D	D	D
	Plantaciones	O	O	D	D	O	O

Fuente: modificado de Rüginitz et al. (2009).

**O:** obligatorio; **R:** recomendado; **D:** dependiendo de la exigencia del mercado.

### 3.3.12 Selección de Sitios

En el presente estudio de investigación se consideró los estudios de la Zonificación Económica Ecológica, (Figura 09) en las cuales precisa ser un bosque húmedo tropical de terraza alta, ligeramente disectadas, no existiendo en ella presencia de diferencias relevantes en conformaciones boscosas, edáficas y de relieve.

En el caso de sitios o zonas de vida, con diferentes condiciones topográficas, edáficas, climáticas, se estratifica agrupando los sitios con condiciones similares y muestreando dentro de cada grupo.

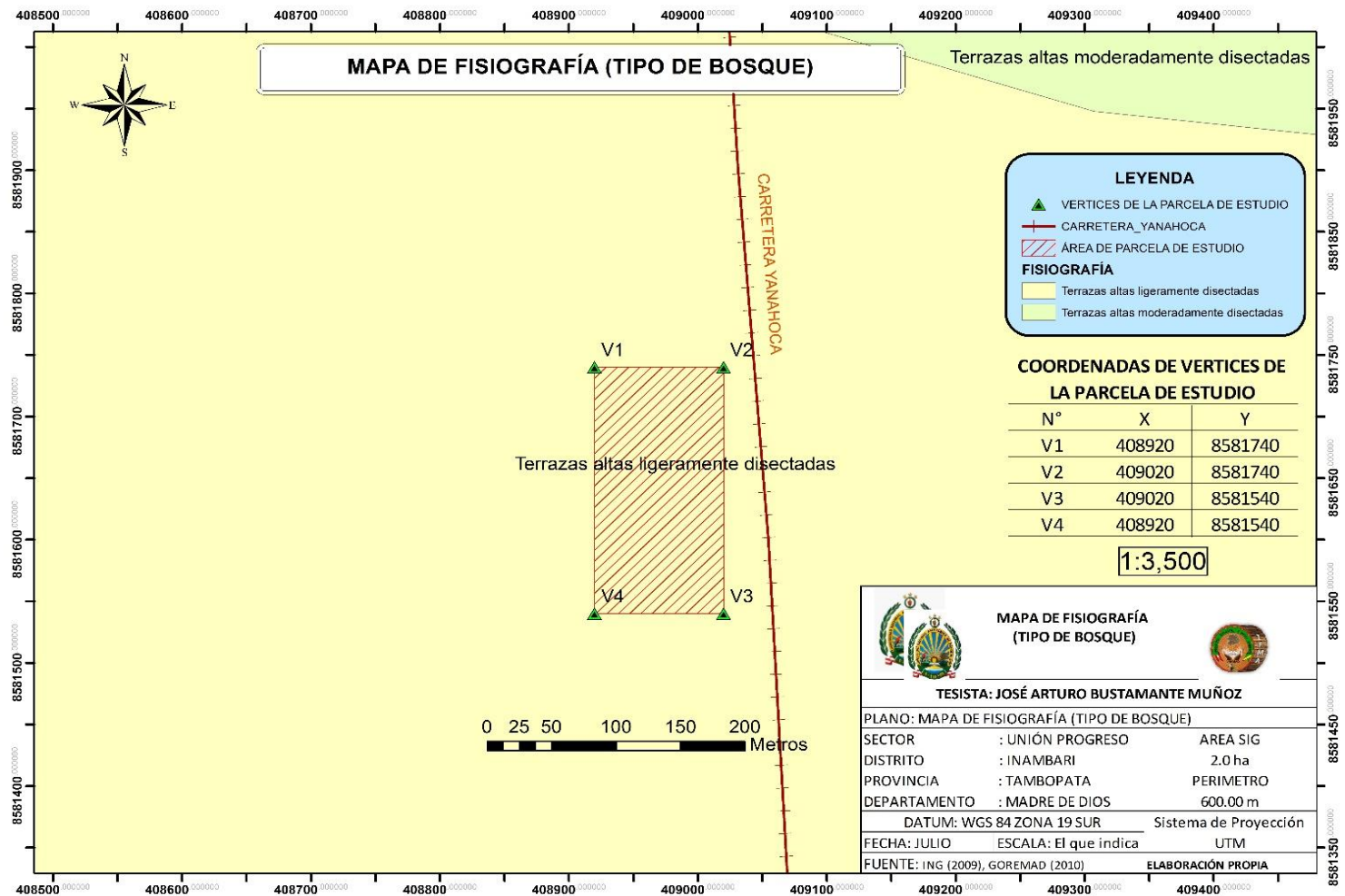


Figura 09. Tipo de Bosque: Terrazas Altas Ligeramente Disectadas (Ba-Id) - Zonificación Económica Ecológica  
Fuente: Elaboración propia (2017)

### 3.3.13 Tipo de Parcela.

“Para evaluar la cantidad de biomasa (carbono) en cada parcela y/o deposito seleccionado, se utilizó parcelas de muestreo del tipo temporal sin embargo cabe precisar que estadísticamente son más eficientes las Parcelas permanentes puesto que son comúnmente utilizadas en inventario de especies arbóreas, cuando cada árbol es identificado y monitoreado (en cuanto al crecimiento y supervivencia) en el tiempo (años). Para otros tipos de depósitos usualmente se utilizan parcelas temporales. Por su parte, las parcelas temporales pueden presentar un menor costo de establecimiento”.

“Una desventaja de la utilización de las parcelas permanentes, ocurre cuando algunos técnicos y productores, al saber que las parcelas permanentes serán visitadas por los verificadores de las certificadoras, de forma casi natural, realizan un manejo diferenciado (mayor atención), proporcionando una mayor producción de biomasa, no representando la realidad del área total del proyecto” (Rügnitz et al. 2009).

## 3.4 Tratamiento de los Datos

### 3.4.1 Calculo de Biomasa Sobre el Suelo

La siguiente ecuación alométricas (01) nos permite estimar la biomasa sobre el suelo (kg de materia seca por árbol) en bosques húmedo tropical característica fundamental de nuestra región con precipitaciones entre 2 000-4 000 mm/año.

(01)

$$y = \exp [-3,1141 + 0,9719 \ln(D^2H)] \dots \dots \dots R^2 \text{ Ajustado } 0.97$$

Fuente:  
Muhammad et al. (2007).

Dónde:

Y = materia seca sobre el suelo, en kg de materia seca por árbol.

dap = diámetro a la altura del pecho, en cm.

ln = logaritmo natural.

exp = "elevado a la potencia de".

Y = materia seca sobre el suelo, en kg de materia seca por árbol.

H = altura en metros.

### 3.4.2 Cálculo de stocks de carbono en la biomasa arbórea

Procedemos a calcular la biomasa arbórea sobre el suelo utilizando ecuación alométrica genérica.

(02)

$$B_{AU} = f(\text{datos dimensionales})$$

Fuente: Rügnitz et al. (2007).

Dónde:

$B_{AU}$  = es la biomasa arbórea sobre el suelo de una unidad, en kilogramos de materia seca por árbol (kg M.S./árbol);

$f$  (datos dimensionales): es una ecuación alométrica relacionando la biomasa sobre el suelo (kg M.S./árbol) a los datos dimensionales medidos en campo: dap, y altura total del árbol.

### Cálculo de la biomasa arbórea por hectárea

(03)

$$B_A = (\sum_{AU}/1000) \times (10000/\text{área de la parcela})$$

Fuente: Rügnitz et al. (2007).

Dónde:

$B_A$  = Biomasa arbórea sobre el suelo (tMS/ha)

$\sum_{AU}$  = Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (kg M.S./área de la parcela);

Factor 1000 = Conversión de las unidades de la muestra de kg MS/t/MS

Factor 10000 = Conversión del área (m<sup>2</sup>) a hectárea

Luego de haber calculado la biomasa por hectárea

## Calculamos el stock de carbono en la biomasa arbórea por hectárea

(04)

$$\Delta C_{BA} = (B_A * CF)$$

Fuente: Rüginitz et al. (2009)

Dónde:

**$\Delta C_{BA}$**  = Cantidad de carbono en la biomasa sobre el suelo (tC/ha);

**$B_A$**  = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha);

**CF** = **0,5** Fracción de carbono (tC/tMS). Valor estándar del Panel Intergubernamental sobre cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change) IPCC

No obstante, cabe mencionar que, para tener un cálculo completo del área de estudio, **calcularemos también el stock de carbono en vegetación no arbórea y hojarasca** de un área de 1 x 1 m = 1 m<sup>2</sup>

Para ello calcularemos la materia seca de la muestra

(05)

$$MS_{muestra} = (MF_{sub-muestra} / MS_{sub-muestra}) \times MF_{muestra}$$

Fuente: Rüginitz et al. (2009).

Dónde:

**$MS_{muestra}$**  = materia fresca de la muestra (kg/0,25 m<sup>2</sup> para vegetación arbustiva de pequeño porte, herbáceas y gramíneas o kg/4 m<sup>2</sup> para vegetación arbustiva de grande porte)

**$MF_{sub-muestra}$**  = materia fresca (kg) de la sub-muestra llevada para la determinación de la cantidad de humedad.

**$MS_{sub-muestra}$**  = materia seca (kg) de la sub-muestra llevada para la determinación de la cantidad de humedad.

**$MF_{muestra}$**  = materia fresca de la muestra (kg/0,25 m<sup>2</sup> para vegetación arbustiva de pequeño porte, herbáceas y gramíneas o kg/4 m<sup>2</sup> para vegetación arbustiva)

Con los datos obtenidos anteriormente calcularemos la cantidad de carbono en la muestra de la vegetación no arbórea

(06)

$$\Delta C_{BN \text{ muestra}} = MS_{\text{muestra}} * CF$$

Fuente: Rüginitz et al. (2009).

Dónde:

$\Delta C_{BN \text{ muestra}}$ : Cantidad de carbono en la biomasa de la muestra de vegetación no arbórea (kg C/0,25 m<sup>2</sup> o kg/4 m<sup>2</sup>);

CF: es la fracción de carbono (kg C /kg MS) determinada en el laboratorio o utilizando el valor padrón del IPCC = 0,5.

Por último, calcularemos la cantidad de carbono en la biomasa de la vegetación no arbórea por hectárea, la misma que está calculada a partir del tamaño del marco (4 m<sup>2</sup>), convirtiendo las unidades de la muestra de kg C a tC.

(07)

$$\Delta C_{BN} \text{ (t C/ ha)} = (10000 \text{ m}^2 / 0,25 \text{ m}^2 \text{ o } 4 \text{ m}^2) \times ((\sum \Delta C_{BN \text{ muestras}} / \text{número de muestras}) / 1000)$$

Fuente: Rüginitz et at. (2009).

Dónde:

$\Delta C_{BN}$  = Cantidad de carbono en la biomasa de vegetación no arbórea (tC/ha);

$\Delta C_{BN \text{ muestras}}$  = sumatoria de la cantidad de carbono de todas las muestras (Kg C/0,25 m<sup>2</sup>)

Factor 1000 = conversión de las unidades de la muestra de kg MS a t MS

Factor 10000 = conversión del área a hectárea

Es preciso detallar que los cálculos antes desarrollados nos dan la posibilidad de calcular el stock de carbono en la biomasa sobre el suelo, para ello se hizo uso de una selección de ecuaciones alométricas aplicadas a las mediciones de los árboles.

## Cálculo de stock de carbono en la biomasa sobre el suelo (08)

$$\Delta C_{BAS} = \Delta C_{BA} + \Delta C_{BN}$$

Fuente: Rüginitz et al. (2009).

Dónde:

$\Delta C_{BAS}$  = Cantidad de carbono en la biomasa sobre el suelo (tC/ha);

$\Delta C_{BA}$  = Cantidad de carbono en la biomasa de vegetación arbórea (tC/ha);

$\Delta C_{BN}$  = Cantidad de carbono en la biomasa de vegetación no arbórea (tC/ha);

## Calculo de la Biomasa de raíces arbóreas

Para La medición y estimación de la biomasa de raíces arbóreas es considerada una ardua tarea que demanda mucho tiempo y alto costo. Sin embargo, haciendo uso de las ecuaciones alométricas pre existentes (ecuación 09) validada para bosques tropicales es posible utilizar relaciones entre la biomasa subterránea y la biomasa sobre el suelo (Rüginitz et al 2009)

En este sentido estimaremos la biomasa subterránea con la ecuación que a continuación se detalla:

(09)

$$Y = \exp[-1,0587 + 0,8836 \cdot \ln(BA)] \quad r^2: 0,84$$

Fuente: Rüginitz et al. (2009).

Fórmula válida para bosques

tropicales

Dónde:

Y= biomasa de la raíz en toneladas por hectárea de materia seca (t MS/ha)

ln = logaritmo natural.

exp = elevado a potencia de

BA = biomasa aérea en toneladas por hectárea de materia seca (t MS/ha)

Como es de entender aplicaremos dicha fórmula por encontrarnos dentro del bosque húmedo tropical.

### 3.4.3. Fases del proceso de investigación

#### Levantamiento de información en campo y gabinete

- Se procedió a procesar los datos de campo, empleando para ello una computadora, con la aplicación de los programas Word (redacción), Hoja de cálculo Excel (diseño de base de datos, sumatorias) y Arc Gis 9.3 (elaboración de mapas).
- Finalmente se contrastó las hipótesis, que a continuación se presenta en el siguiente capítulo (IV Resultados).

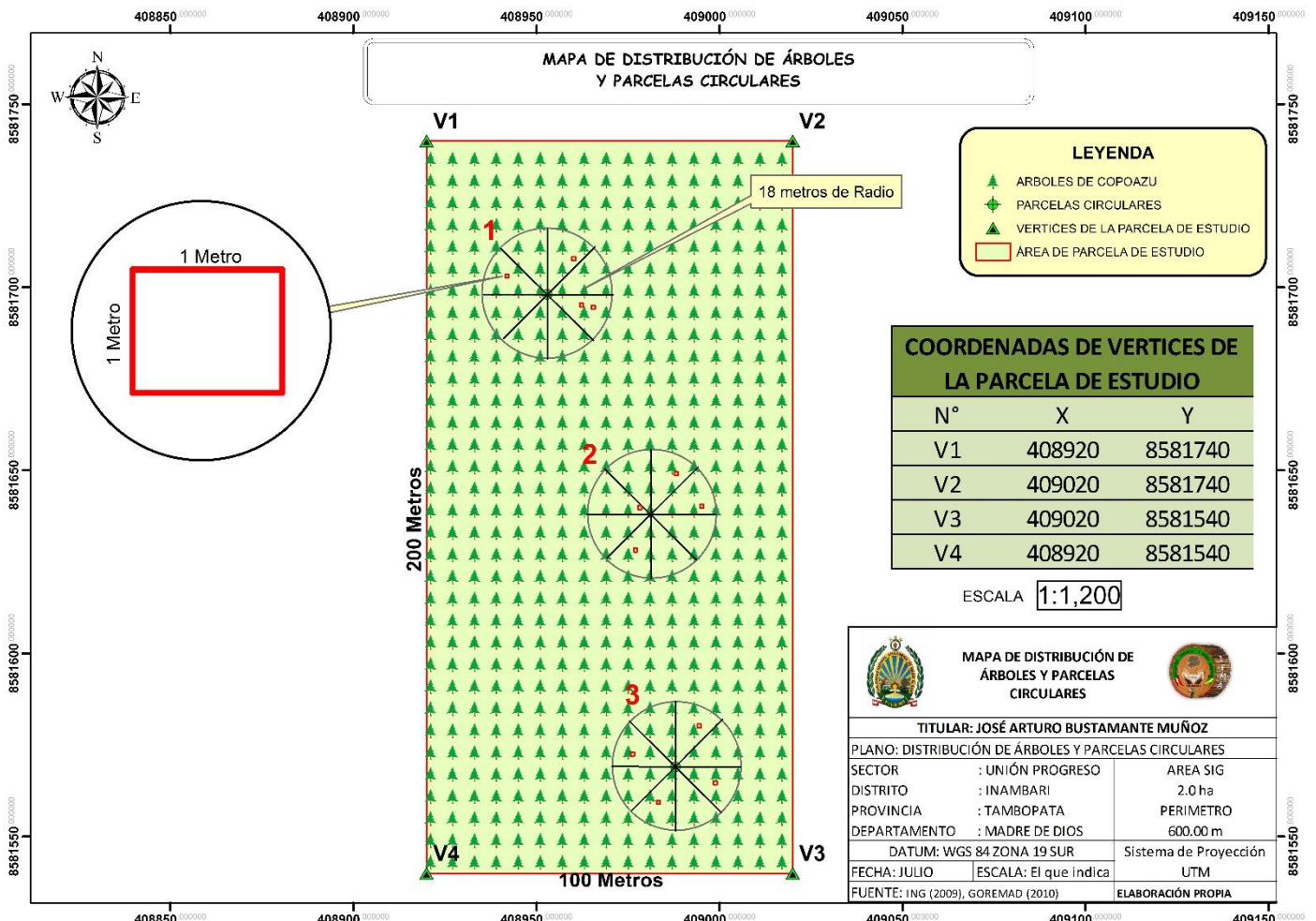


Figura 10. Distribución de parcelas dentro de la parcela

Fuente: Elaboración propia (2017).



## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS

#### 4.1.1 Resultados del Cálculo de Biomasa Sobre el Suelo.

El Tabla 07, presenta los resultados obtenidos de toneladas de biomasa por hectárea (tb/ha) en el fundo “El Porvenir” propiedad del señor Edgar Sonco Quispe, donde se muestra en la parcela N° 01 el valor mínimo es de 47,93 tb/ha y en la parcela N°03 una máxima de 50,95 tb/ha, obteniendo un promedio de 49,03 tb/ha.

Tabla 07. Distribución de la biomasa sobre el suelo, por parcelas de muestreo (tb/ha)

Parcela	Parcela 1 027,88 m <sup>2</sup> plantación	Parcela 1x1 Herbácea	Parcela 1x1 Hojarasc a	Parcela 1 027,88 m <sup>2</sup> Biomasa de raíz	total tb/ha	$\bar{X}$ tb/ha
P1	42,51	1,048	2,122	2,25	47,93	49,03
P2	43,06	0,774	2,100	2,27	48,20	
P3	50,95	1,091	2,160	2,31	50,95	

Fuente: Elaboración propia (2017), en base al anexo 05.

Los resultados son similares a lo reportado por Andrade et al. (2011) en sus estudios realizados en plantaciones de *Theobroma cacao* en Ecuador, logrando hallar valores promedios de 45 tb/ha, del mismo Ortiz et al. (2008) en plantaciones de *Theobroma cacao* de 10 años de edad, en Costa Rica estimaron biomasa en 47 tb/ha, por otra parte, William et al. (2013) realizaron un estudio en Venezuela obteniendo un total de 50 tb/ha en la especie *Theobroma cacao*. Sin embargo los investigadores Cerda et al. (2013); Ortiz y Riascos (2006); Soto Pinto

et al. (2000); Petteri Seppänen (2002); Roncal García et al. (2008); Callo-Concha et al. (2004); Corral et al. (2006); Gilabert et al. (2007) y Gutiérrez y Lopera. (2001) obtuvieron valores superiores a las 49 tb/ha, esto se puede atribuir a procedimientos metodológicos que surgen del diseño, las ecuaciones alométricas, grado de intervención, zona de siembra, años de siembra del sistema agroforestal, cobertura del suelo entre otros, Sarmiento et al. (2005).

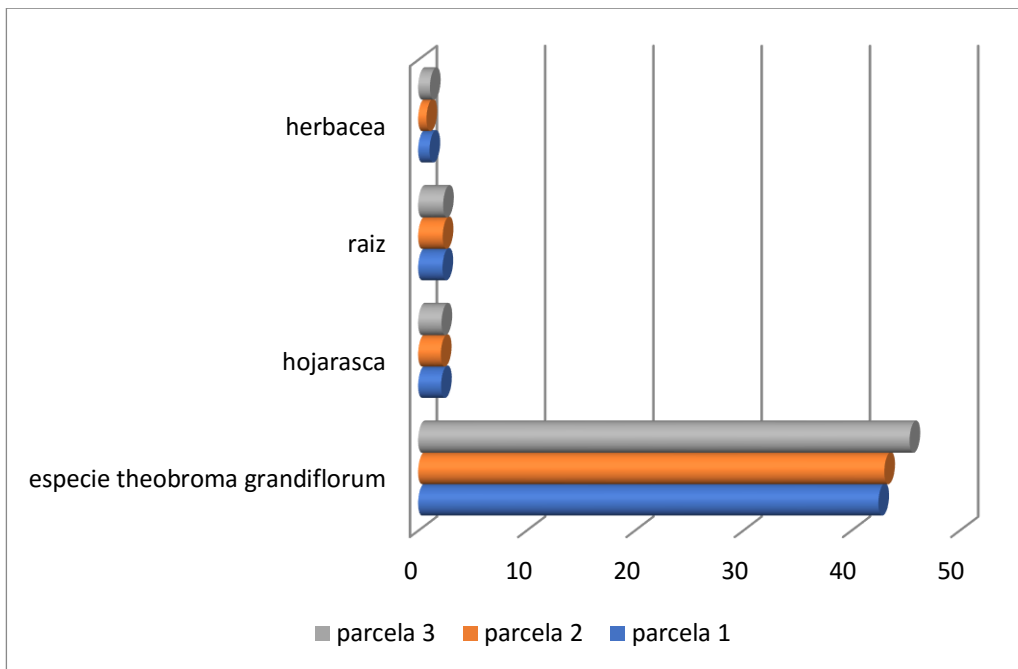


Figura 11. Tonelada de Biomasa por Hectárea (tb/ha).

Fuente: Elaboración propia 2017

Con relación a los promedios encontrados para la especie *Theobroma cacao* se puede apreciar que los resultados obtenidos por Andrade et al. (2011); Ortiz et al. (2008) y William et al. (2013) para la especie *Theobroma grandiflorum* se encuentra dentro del rango promedios superior obtenido para la especie *Theobroma cacao* para plantaciones de la Amazonía oriental.

#### 4.2.2 Resultados del Cálculo de toneladas de Carbono Almacenado por hectárea

El Tabla 08, presenta los resultados obtenidos de toneladas de Carbono por hectárea (tC/ha) en el fundo “El Porvenir”, donde se muestra la parcela N°01 que el valor mínimo de 56,35 tC/ha y una máxima en la parcela N° 03 de 57,99 tC/ha con un promedio de 56,95 tC/ha.

Tabla 08. distribución del Carbono sobre el suelo, por parcelas de muestreo (tC/ha).

Parcela	Parcela 1 027,88 m <sup>2</sup> Plantación	Parcela 1x1 Herbácea	Parcela 1x1 Hojarasca	Parcela 1 027,88 m <sup>2</sup> Raíz	Parcela 0,3x1x1m <sup>3</sup> Suelo	total tC/ha	$\bar{X}$ tC/ha
P1	21,53	0,524	1,06	1,13	23,9	56,35	56,95
P2	21,53	0,387	1,09	1,13	23,9	56,52	
P3	22,69	0,612	1,15	1,16	23,9	57,99	

Fuente: Elaboración propia (2017).

Las que resultan dentro del rango reportado por Andrade et al (2011), Ortiz et al. (2008) y William et al. (2013), para la especie *Theobroma cacao*, Sin embargo, los investigadores Cerda et al. (2013); Ortiz y Riascos. (2006); Soto Pinto et al. (2000); Petteri Seppänen. (2002); Roncal García et al. (2008); Callo-Concha et al. (2004); Corral et al. (2006); Gilabert et al. (2007) y Gutiérrez y Lopera. (2001) obtuvieron valores superiores a las 57 tC/ha, esto se puede atribuir a procedimientos metodológicos que surgen del diseño, las ecuaciones alométricas, grado de intervención, zona de siembra, años de siembra del sistema agroforestal, cobertura del suelo entre otros, Sarmiento et al. (2005).

Con relación a los promedios encontrados para la especie *Theobroma cacao* se puede apreciar que los resultados obtenidos por Andrade et al. (2011) y Ortiz et

al. (2008) son inferiores a lo obtenido para la especie *Theobroma grandiflorum* con un promedio de 56,95 tC/ha, por otra parte William R et al (2013) obtuvo un promedio de 57 tC/ha para la especie *Theobroma cacao* lo que podemos deducir que la especie *Theobroma grandiflorum* es igual al contenido de carbono almacenado para estas dos especies.

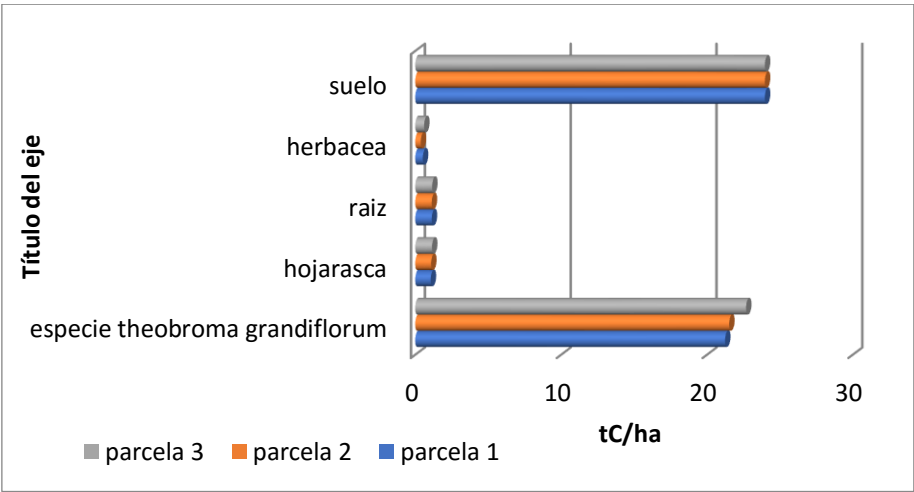


Figura 12. Tonelada de Carbono por hectárea (tC/ha)

Fuente: Elaboración propia 2017.

#### 4.2.3 Resultados del Cálculo de Carbono Equivalente de la plantación de *Theobroma grandiflorum* / hectárea.

Teniendo en cuenta la relación Carbono – Biomasa se tiene que:

$$\begin{aligned} 1 \text{ t biomasa} &= \pm 0,5 \text{ tC} \\ 1 \text{ tC} &= 3,67 \text{ t de CO}_2\text{e} \end{aligned}$$

Con los datos de toneladas de carbono almacenado por la plantación de *Theobroma grandiflorum* (56,95 tC/ha), con ello se calculó la equivalencia de carbono almacenado (CO<sub>2</sub>e). En una molécula de CO<sub>2</sub> existen dos átomos de oxígeno (con peso atómico 2 x 16 = 32) y un átomo de carbono (con peso atómico 12). Por lo tanto, el peso molecular del CO<sub>2</sub> es 44 (= 2 x 16 + 12), de los cuales solamente 12 corresponden a carbono. De lo anterior se deduce que: 44/12 = 3,667 t de CO<sub>2</sub>, para tener 1 t de C. Las reducciones de emisiones resultantes de la actividad agroforestal en la plantación de *Theobroma grandiflorum* en los mercados de carbono son contabilizadas en forma de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE's) y negociadas en mercados internacionales de carbono. Un CRE's corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), así mismo, una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO<sub>2</sub>e (obtenido en razón de los pesos moleculares 44/12. Para el presente trabajo de investigación se tiene un total de 209 toneladas de CO<sub>2</sub>e por hectárea (209 tCO<sub>2</sub>e/ha/año), las mismas que pueden ser negociadas en los mercados internacionales de carbono.

## CONCLUSIONES

- Se determinó la biomasa total del fundo “El Porvenir” de 49,03 tb/ha. Relacionando toneladas de biomasa y proyectando a las 2 ha que tiene el área de estudio, podemos precisar que tiene un aproximado de 98,06 tb/ha.
- Se determinó el stock de carbono almacenado en el fundo El Porvenir, teniendo como resultado 56,95 tC/ha. Relacionando toneladas de carbono y proyectando a las 2 ha que tiene el área de estudio, de ella podemos precisar que se tiene un aproximado 113,9 tC/ha.
- Con el valor determinado de 56,95 tC/ha, El stock de carbono aéreo en una plantación de *Theobroma grandiflorum* “copoazú” en el distrito de Inambari, región Madre de Dios, está por encima de los valores promedios de la especie *Theobroma cacao*, por lo tanto, se acepta la Hipótesis Alternativa.
- De acuerdo a estos resultados, se puede confirmar que la capacidad de almacenamiento de carbono del sistema agroforestal de *Theobroma grandiflorum* no se ve influenciado por las condiciones de relieve y que factores como densidad de siembra y genética propia de cada especie, afectan más el comportamiento de este componente. En términos monetarios dada la equivalencia podemos decir que las 56,95 tC/ha, se podría negociar en el mercado el equivalente a 209 CRE's por hectárea por año (209 tCO<sub>2</sub>e/ha).

## RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones de la misma especie en otro lugar para poder comparar resultados.
- Tener cuidado al momento de estimar la altura puesto que es determinante al momento de hacer los cálculos de stock de carbono.
- Realizar investigaciones con el método destructivo o medición de árboles tumbados y poder tener datos a nivel de moléculas de carbono.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ ALEGRE, J., AREVALO L., RICSE A., CALLO-CONCHA D. y PALM CH., (2002). "Secuestramiento de Carbono con Sistemas Alternativos en el Perú (presentación en el IV Congreso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais Ilhéus, Bahía. Brasil".
- ✓ AREVALO L., ALEGRE J., PALM Ch. (2002). "Manual Determinación de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de uso de la tierra en Perú. Lima. Perú".
- ✓ ASNER, G, POWEL, G, MASCARO, J, KNAPE, D, CLARK, J, JACOBSON, J, BOWDOIN, T, BALAJI, A, PAEZ, G, VICTORIA, E, SECADA, L, VALQUI, M y HUGHES, F. (2010). High-resolution forestCarbon stocks and emissions in the Amazon. Perú. 5pg.
- ✓ ANDRADE, FIGUEROA, JULIANA MARIA Del PILAR SILVA, DORIS P (2013). "Almacenamiento de Carbono en Cacaotales (*Theobroma Cacao*) en Armero-Guayabal" (Tolima, Colombia)
- ✓ "APPS, M. J., W. A. KURZ, R.J. LUXMORE, L. O. NILSSON, R. A. SEDJO, R. SCHDMIDT, L. G. SIMPSON y T. S. VINSON. (1993). Boreal Forests and Tundra. In: WISNIEWSKI, J. y R.N. SAMPSON (Eds). Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO2. Kluwer Academic Publishers. Holanda. p: 39-53"
- ✓ BEAUMONT, E.; MORENO, C. (2000). "Convención Marco de Cambio Climático y Protocolo de Kyoto: Oportunidades y Riesgos. Chile Forestal XXV, 279. Enero 2000. 46 - 49 p".
- ✓ BOLIN, B., B.R. Doos, J. JAGGER y R.A. WARRICK. (1986). The Greenhouse effect, climate change and ecosystems. Ed. John Wiley y Sons.



- ✓ BROWN, S., Ch. Hall, W. KNABE, J. RAICH, M. TREXLER y P. WOONER. (1993). "Tropical forest: their past, present and potential future role in the terrestrial carbon budget. *Water, Air and Soil Pollution*. No. 70: 71-94".
- ✓ CACERES. C.C. (2014) "Determinación de Stock de Carbono en Bosque de Terraza Alta en LA Región Madre de Dios. Tesis para optar el título de Ingeniero".
- ✓ CALLO CONCHA. A., I. RAJAGOPHAL B., L. KRISHNAMURTHY C (2004) Secuestro de Carbono por Sistemas Agroforestales en Veracruz
- ✓ CERDA B, ESPIN CH, CIFUENTES (2013). Carbono En Sistemas Agroforestales de Cacao De La Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica
- ✓ CORPORACIÓN PERUANA DE AEROPUERTOS Y AVIACIÓN COMERCIAL, CORPAC-MDD (2009). – "Datos Climatológicos y Meteorológicos en Madre de Dios".
- ✓ CHERRILL, A. y C. Mc CLEAN. (1995). "An investigation of uncertainty in field habitat mapping and the implications *Madera y Bosques* 7(2), 2001:27-47 45 for detecting land cover change. *Landscape Ecology* 10(1): 5-21".
- ✓ CORRAL, DUICELA, MAZA (2006) "Fijación y Almacenamiento de Carbono En Sistemas Agroforestales con Café Árabe y Cacao del Litoral Ecuatoriano".
- ✓ CONCHA, ALEGRE, POCOMUCHA (2007). "Determinación de Las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de Sistemas Agroforestales de *Theobroma cacao L.* en el Departamento De San Martín, Perú".
- ✓ CHULLA FURO (2009), "Secuestro de Carbono en los frutos de la especie (*Bertholletia excelsa*), departamento de Madre de Dios".
- ✓ DE JONG, B., MASERA, O. y HERNÁNDEZ-TEJEDA T. (2004). "Opciones de captura de carbono en el sector forestal. en: *Cambio Climático: una visión desde México*. (pp 369-380) México. Secretaría de Medio Ambiente

y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE)”.

- ✓ DELGADO. N.M, QUECHULPA, S.M.(2006) “Estrategia 2040 Una Orientación para las Conservación de las Áreas Naturales Protegidas .Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas – Mexico 5 – 46 p”.
- ✓ DIXON, R.K., S. BROWN, R.A. HOUGHTON, A.M. SOLOMON, M.C. TREXLER y J. WISNIEWSKI. (1994). “Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 185-190”.
- ✓ EGUREN, L. (2004). “El Mercado del Carbono en América Latina y El Caribe. Balance y perspectivas. Cepal. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Santiago. Chile”.
- ✓ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2000). “Sistemas de Uso de la Tierra en los Trópicos Húmedos y la Emisión Secuestro de CO2World Soil Resources Reports 88. Rome. 98 pp”.
- ✓ GAMARRA, J. (2001). “Simulación de Captura de Carbono en un Bosque de Eucalyptus globulus Labill, mediante el Modelo CO2FIX, Versión 1.2 for Windows. Ponencia en el I Congreso Nacional del Eucalipto. Huancayo”.
- ✓ GILABERT P, MEZA D, CABELLO T, AURTENENCHEA F (2007) “Estimación del Carbono Capturado en las Plantaciones de Pino Radiata y Eucaliptos Relacionadas con el DL-701 de 1974”.
- ✓ GUTIERREZ Y LOPERA (2001). “Metodología Para la Cuantificación de Existencias y Flujo de Carbono en Plantaciones Forestales”.
- ✓ HOUGHTON R.A. y C.M. WOODWELL. (1989). “Global Climate Change. Scientific American 260(4): 36-40”.
- ✓ HIDALGO CAMERANA (2006) “Determinación de las Reservas Totales de Carbono en Plantaciones Forestales de *Eucalyptus globulus L.* en Marcara – Carhuaz – Perú”.

- ✓ HOUGHTON, R.A; LAWRENCE, k.T; HACKLER, J.L y BROWN, S. 2001. "The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates".

<Http://Infocafes.com/Portal/wpcontent/Uploads/2017/01/08Fundaciontierraviva-agrosistemas-forestales-cacaco.pdf>

- ✓ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC, 1990). "The Potential Impact of Climate Change on Agriculture and Forestry. Likely Impactsof Climate Change, Report from Working Group II to IPCC, OMM, PNUMA".
- ✓ INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (2003). Clasificación Boscosa en la Amazonia Peruana.16 / 22 p
- ✓ IPCC-Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climatico (2000). "Land use, land-use change, and forestry special report. Cambridge University Press 377 pp".
- ✓ IPCC- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climatico, (2001). Climate Change (2001): "Synthesis Report, Summary for Policymakers. This summary, approved in detail at IPCC Plenary XVIII (Wembley, United Kingdom, 24-29 September. 34 p. Disponible en <<http://www.ipcc.ch/pub/SYRspm.pdf>> acceso: 22 de Julio 2002".
- ✓ KRYSANOVA, V., W. MUELLER Y A. BECKER (1998). "Development and test of a spatially distributed hydrological/ water quality model for mesoscale watersheds. Ecological-Modelling 106 (3-2): 261-289".
- ✓ LASOF, D.A. y D.R. AHUJA. (1994). "Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. Nature 344(5): 529-531".
- ✓ MANDER, U., A. KULL, V. TAMM, V. KUUSEMENTS y R. KARJUS. 1998. "Impact of climatic fluctuations and land use change on runoff and nutrient losses in rural landscapes. Landscape and Urban Planning 41(3- 4):229-238".

- ✓ MASERA, O., M.R. BELLON y G. SEGURA W. (1995). "Forest management options for sequestering carbon in Mexico. Biomass y Bioenergy 8(5): 357-367".
- ✓ MONTAGNINI, F., y Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: "An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. Agroforestry Systems 61, 281 – 295".
- ✓ MONTOYA, G. L., SOTO P., JONG, B. NELSON, K. FARÍAS, P., TAYLOR, J. y TIPPER, R. (1995). "Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las Zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas. México, D. F. Instituto Nacional de Ecología, Cuadernos de Trabajo 4".
- ✓ MARCEL. D y SOTERO. Q, (2006) "Manual de monitoreo de carbono en Sistemas Agroforestales – (ONG AMBIOS S.C. de R.L) San Cristobal de las Casas – Chiapas México".
- ✓ NAIR, P. K. R. (1993). "An introduction to agroforestry. The Netherlands. Kluwer Academic Publishers".
- ✓ NEUENSCHWANDER, A, (1999). "Captura de carbono en convenios de mediería: Una nueva etapa. Chile Forestal XXIV, 278, Diciembre (1999). 26 - 29 p".
- ✓ ORDOÑEZ, A. 1999. "Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso. Instituto Nacional de Ecología. Semarnap. México D. F."
- ✓ ORDOÑEZ, A. (1998). "Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso para Bosque Templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F."
- ✓ ORTIZ G. Y RIASCOS C. (2006). "Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal Cacao *Theobroma cacao* L Y Laurel *Cordia alliodora*(Ruiz y Pavón) Oken en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica".
- ✓ PILLACA ORTIZ Y FLOREZ CUTIPA (2014). "Determinación del Stock de Carbono En La Biomasa Aérea y Necromasa en Diferentes Tipos De

Vegetación En La Comunidad Nativa De Puerto Arturo, Las Piedras, Madre De Dios – Perú

- ✓ RUGNITZ M, Chacon M. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales, (2009) – 79 P”.
- ✓ RONCAL GARCIA, SOTO PINTO, CASTELLANOS ALBORES, RAMIREZ MARCIAL y BERNARDUS de JONG 2008 “Sistemas Agroforestales y Almacenamiento de Carbono En Comunidades Indígenas de Chiapas, México”.
- ✓ STEVENSON, F. J. (1994). Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. New York, NY. JOHN WILEY and Sons
- ✓ SCHNEIDER, S.H. (1989). “The greenhouse effect: science and policy. Science, 243(10): 271-281”.
- ✓ SCHIMEL, D.S. (1995). “Terrestrial ecosystems and the carbon cycle: Global Change Biology 1: 77-91”.
- ✓ SCHLEGEL B 2001. “Estimación de la Biomasa y Carbono en Bosques del Tipo Forestal Siempre Verde. - Universidad Austral de Chile. 12 p”.
- ✓ SPVS-Proyecto de cambio de uso de suelo, (2002). “Projeto de Seqüestro de Carbono. Disponible en <<http://www.spvs.org.br>> Acceso 20 de Agosto 2002”.
- ✓ SEGURA MILENA, HERNAN J. Andrade. Agroforestería en las Américas N° 46 – Costa Rica (2008). 96 p
- ✓ SOTO-PINTO, JIMENEZ-FERRER, VARGAS GUILLEN, JONG BERGSMA ESQUIBEL-Bazan (2000) “Experiencia Agroforestal Para la Captura de Carbono en Comunidades Indígenas de México”.
- ✓ PETTERI SEPPANEN (2002). “Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo Foresta Veracruzana, vol. 4, núm. 2, (2002), pp. 51-58, Recursos Genéticos Forestales México”.
- ✓ PILLACA Y FLORES (2014) “Determinación del Stock de Carbono en la Biomasa Aérea y Necromasa en diferentes Tipos de Vegetación en la Comunidad Nativa de Puerto Arturo, Las Piedras, Madre de Dios – Perú”.

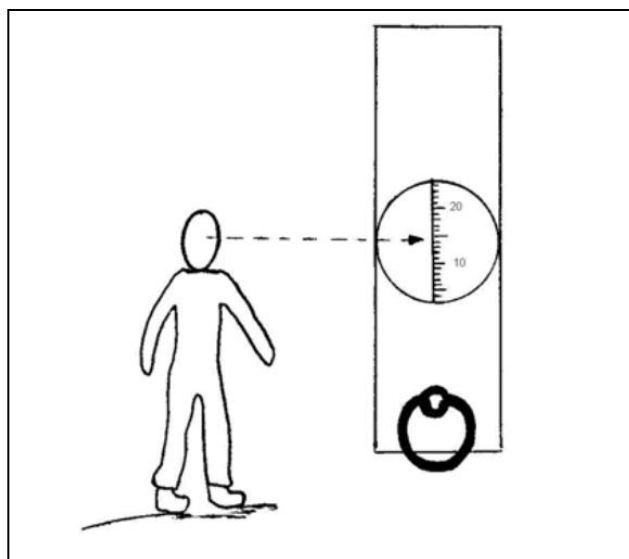
- ✓ “USDA, ARS, National Genetic Resources Program. GRIN. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland (2008)”.
- ✓ VALLENAS y PARRILLO (2007) Determinación del secuestro de Carbono por especie *Dipterix mycrantha*, *Manilkara bidentata* y *Myroxylon balsamun* en Predios Agrícolas del Sector la Novia – Tahuamanu – Madre De Dios.
- ✓ WALKER, S, PEARSON, T, Harris, N, MACDIQUEN, K y BROWN, K. WINROCK Internacional, “Procedimientos Operativos Estándar para la Medición de Carbono Terrestre versión (2007). 50 p.”
- ✓ WILIAM T.(2013) Estudio de 5 Estratos Diferentes para la Determinación de Stock de Carbono Almacenado en la especie *Theobroma Cacao*
- ✓ YQUISE, A, POCOMUCHA, V y VARGAS, Y, (2008). “carbono almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, Perú. 49 pg.”

## ANEXO

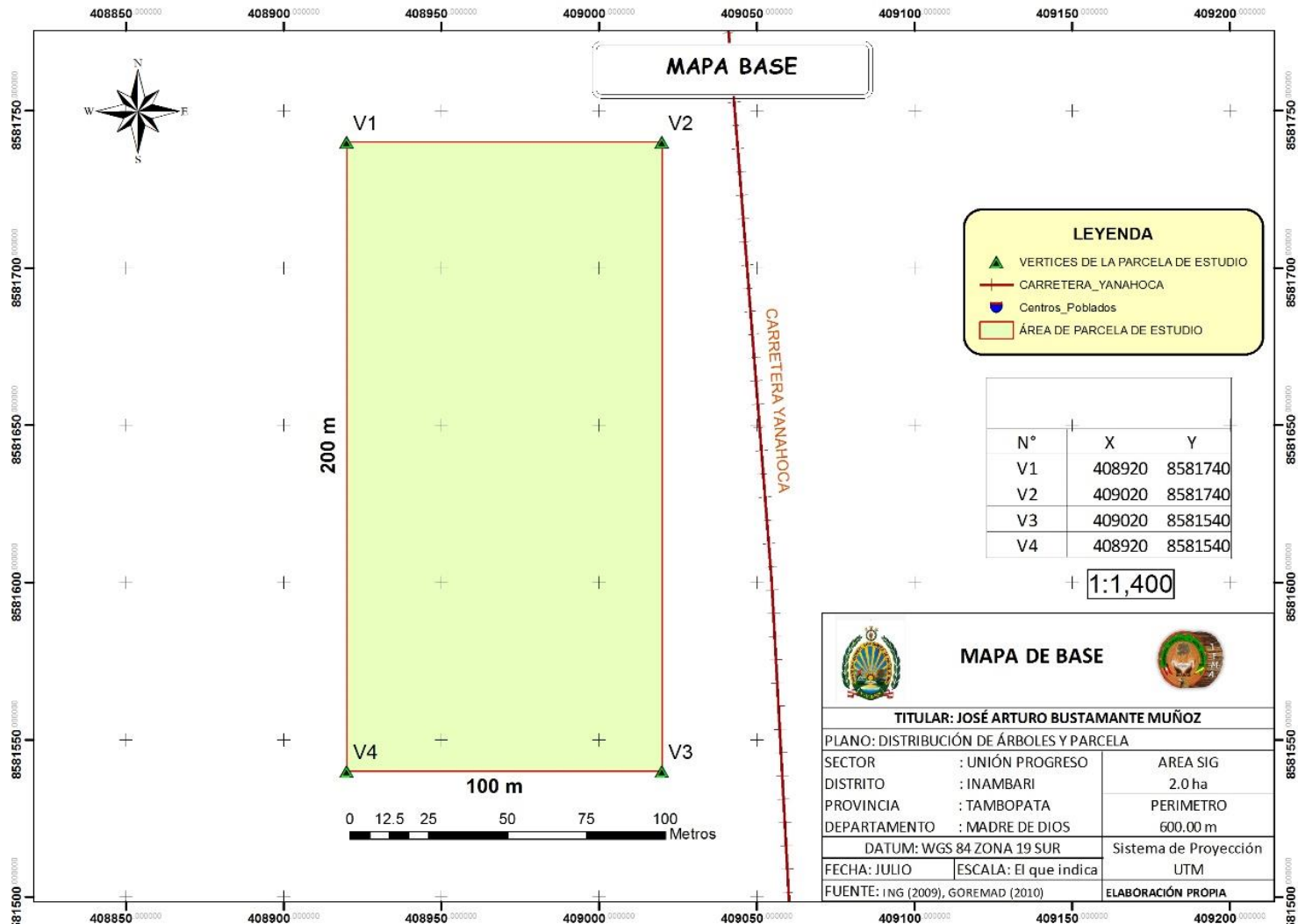
### Anexo 01. Uso del clinómetro.

“El clinómetro es un instrumento con el que podemos medir alturas, pendientes y ángulos. Están graduados con varias escalas de tal forma que obtenemos lecturas de pendiente en porcentaje, escalas topográficas, ángulos u otras en función del modelo. Cuando se usa el clinómetro ambos ojos permanecen abiertos. Con un ojo se observa la escala a través del lente del clinómetro, con el otro ojo se ve a la distancia. Esto produce una ilusión óptica en la que vemos una línea horizontal (línea punteada). Para medir la pendiente la persona con el clinómetro se coloca en el centro del sitio, otra persona se coloca a la distancia con el fin de ser una referencia para la persona que toma la lectura. Con ambos ojos abiertos, se mueve el clinómetro hacia arriba o hacia abajo con la finalidad de que la línea que se observa este a un nivel en el que la persona con el clinómetro vería a la otra persona estando parados uno al lado del otro en una superficie plana. Localizado el punto de referencia se toma la lectura donde la línea coincide con la escala. En este manual se incluye en el Anexo 2 una tabla

de distancias corregidas En función a porcentajes de pendiente. Para usar esta tabla, tomaremos la lectura en nuestro clinómetro en la escala en porcentaje. En nuestra parcela de ejemplo de 1 000 m<sup>2</sup>, con una lectura de 14% como la que se ve en el dibujo, la distancia de 17,84 m se ajustaría a 18,02 m usando la tabla del anexo 2”.

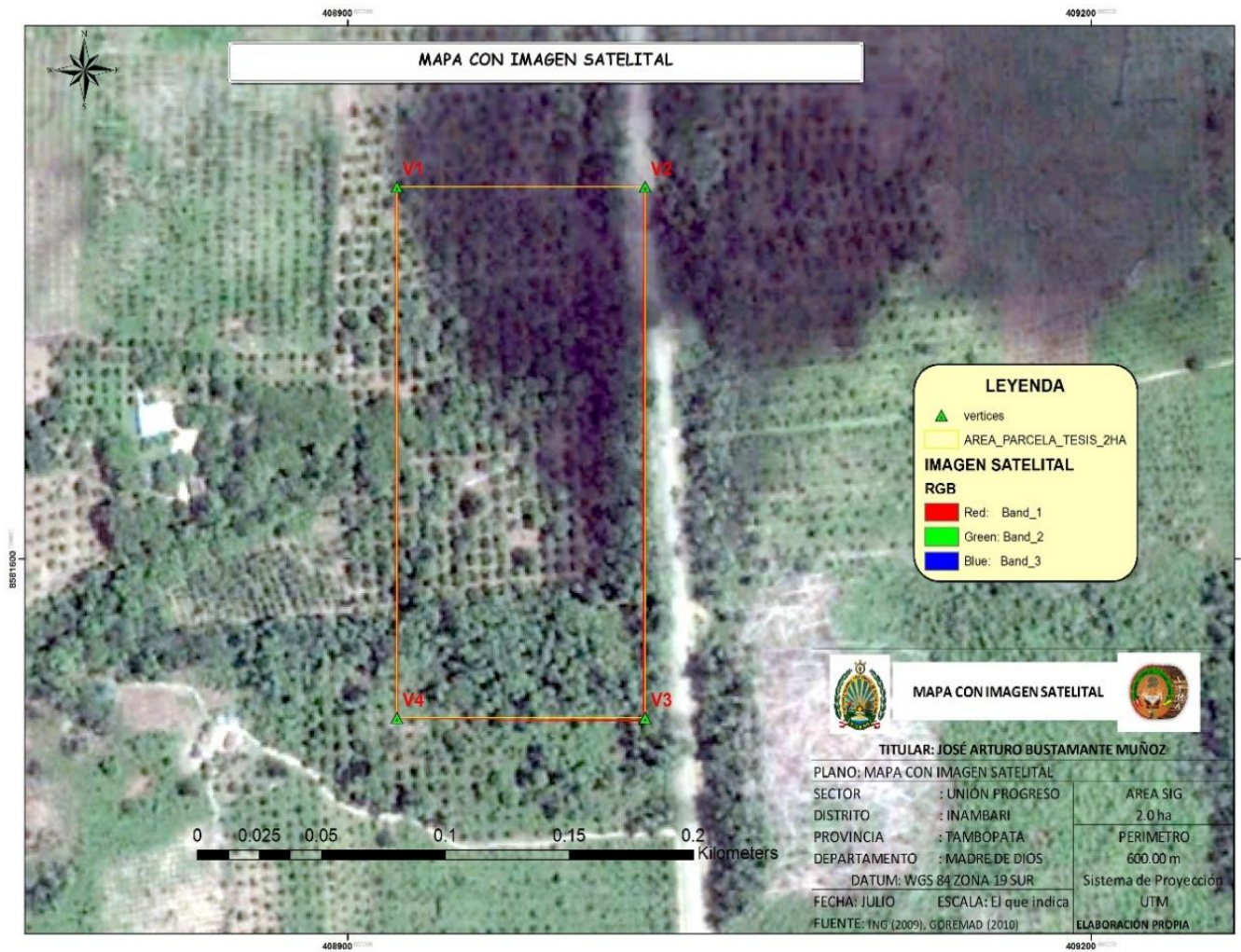


## Anexo 02. Mapa Base

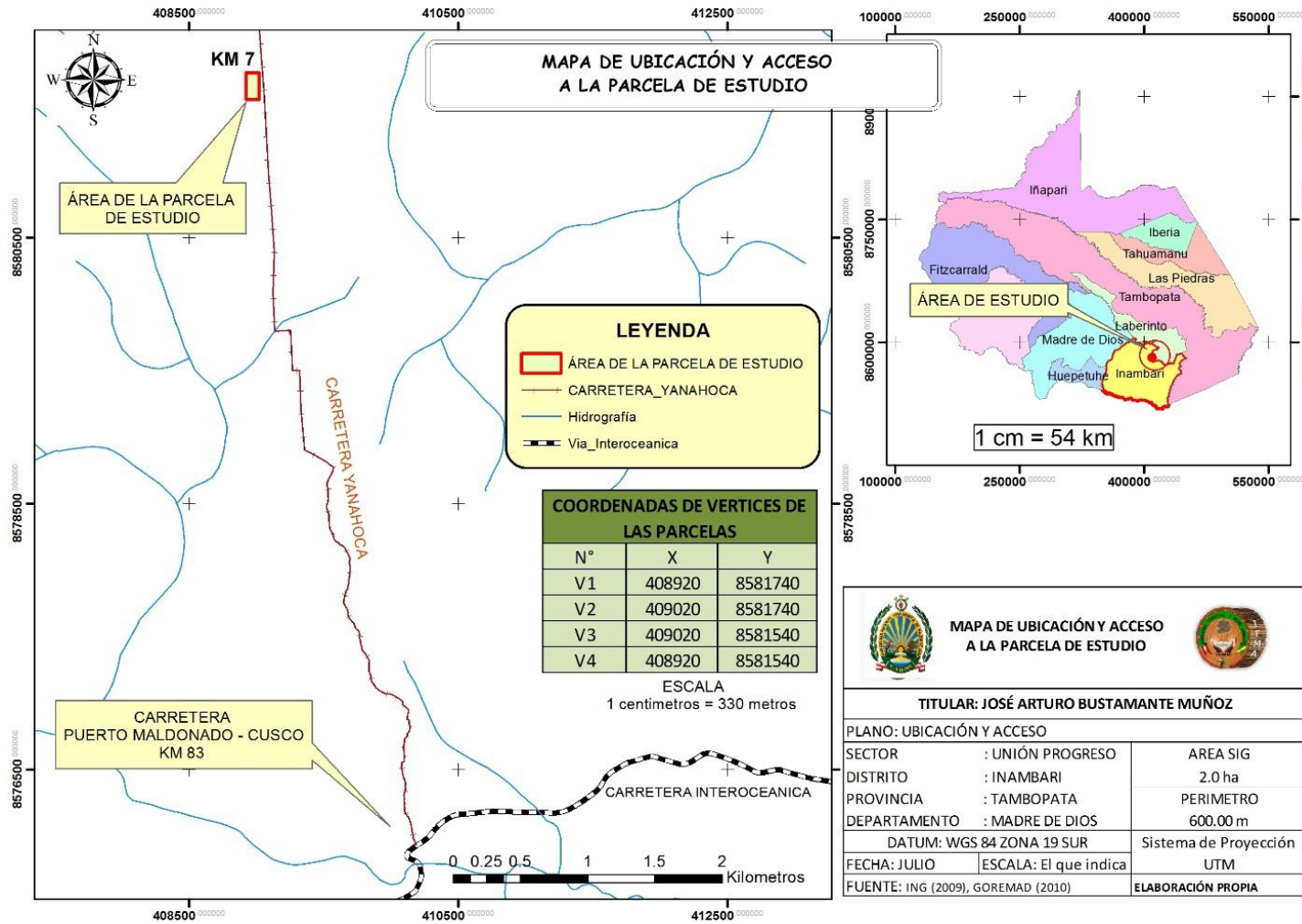




### Anexo 03. Mapa Satelital



## Anexo 04. Mapa de Ubicación y Acceso



### Anexo 05 Datos preliminares

Nro	Dap (cm)	HT (m)	DAP (m)	AB (m2)	VOL (m3/árbol)
1	28,01	8	0,28	0,06	0,32
2	28,97	6	0,29	0,07	0,26
3	25,46	6	0,25	0,05	0,2
4	24,19	6,9	0,24	0,05	0,21
5	29,28	8	0,29	0,07	0,35
6	22,28	6,2	0,22	0,04	0,16
7	21,96	8	0,22	0,04	0,2
8	25,46	6,5	0,25	0,05	0,22
9	28,01	6	0,28	0,06	0,24
10	25,46	6	0,25	0,05	0,2
11	26,42	7	0,26	0,05	0,25
12	25,15	8	0,25	0,05	0,26
13	28,33	6	0,28	0,06	0,25
14	25,46	6	0,25	0,05	0,2
15	26,42	7	0,26	0,05	0,25
16	27,06	6	0,27	0,06	0,22
17	28,65	7	0,29	0,06	0,29
18	27,37	6	0,27	0,06	0,23
19	25,15	7	0,25	0,05	0,23
20	24,51	7,5	0,25	0,05	0,23
21	27,37	8	0,27	0,06	0,31
22	25,46	6	0,25	0,05	0,2
23	26,1	8	0,26	0,05	0,28
24	27,69	7	0,28	0,06	0,27
25	28,65	6,5	0,29	0,06	0,27
26	27,69	6,4	0,28	0,06	0,25
27	28,01	8	0,28	0,06	0,32
28	28,97	6	0,29	0,07	0,26

<b>Nro</b>	<b>Dap (cm)</b>	<b>HT (m)</b>	<b>DAP (m)</b>	<b>AB (m2)</b>	<b>VOL (m3/árbol)</b>
29	25,46	6	0,25	0,05	0,2
30	25,46	8	0,25	0,05	0,26
31	29,28	8	0,29	0,07	0,35
32	22,92	6,2	0,23	0,04	0,17
33	21,96	8	0,22	0,04	0,2
34	25,46	6,5	0,25	0,05	0,22
35	28,01	6	0,28	0,06	0,24
36	25,46	6	0,25	0,05	0,2
37	26,42	7	0,26	0,05	0,25
38	25,15	8	0,25	0,05	0,26
39	28,33	6	0,28	0,06	0,25
40	25,46	6	0,25	0,05	0,2
41	26,42	7	0,26	0,05	0,25
42	27,06	6	0,27	0,06	0,22
43	28,65	7	0,29	0,06	0,29
44	27,37	6	0,27	0,06	0,23
45	25,15	7	0,25	0,05	0,23
46	25,46	7,5	0,25	0,05	0,25
47	27,37	8	0,27	0,06	0,31
48	25,46	6	0,25	0,05	0,2
49	26,1	8	0,26	0,05	0,28
50	27,69	7	0,28	0,06	0,27
51	28,65	6,5	0,29	0,06	0,27
52	27,69	6,4	0,28	0,06	0,25
53	25,15	6,2	0,25	0,05	0,2
54	28,01	8	0,28	0,06	0,32
55	28,97	6	0,29	0,07	0,26
56	25,46	6	0,25	0,05	0,2
57	28,01	7	0,28	0,06	0,28

<b>Nro</b>	<b>Dap (cm)</b>	<b>HT (m)</b>	<b>DAP (m)</b>	<b>AB (m2)</b>	<b>VOL (m3/árbol)</b>
58	29,28	8	0,29	0,07	0,35
59	22,28	6,2	0,22	0,04	0,16
60	21,96	8	0,22	0,04	0,2
61	25,46	6,5	0,25	0,05	0,22
62	28,01	6	0,28	0,06	0,24
63	25,46	6	0,25	0,05	0,2
64	26,42	7	0,26	0,05	0,25
65	26,74	8	0,27	0,06	0,29
66	28,33	7	0,28	0,06	0,29
67	25,46	6	0,25	0,05	0,2
68	26,42	7	0,26	0,05	0,25
69	27,06	6	0,27	0,06	0,22
70	28,65	7	0,29	0,06	0,29
71	27,37	6	0,27	0,06	0,23
72	25,15	7	0,25	0,05	0,23
73	28,01	7,5	0,28	0,06	0,3
74	27,37	8	0,27	0,06	0,31
75	25,46	6	0,25	0,05	0,2
76	26,1	8	0,26	0,05	0,28
77	27,69	7	0,28	0,06	0,27
78	28,65	6,5	0,29	0,06	0,27
79	27,69	6,4	0,28	0,06	0,25
80	25,15	6,2	0,25	0,05	0,2

## **ANEXO 6: FOTOS**



FOTO A: Parcela cuadrangular de 1 x 1m para obtener las hierbas vivas y hojarasca.



FOTO B: Extracción y pesado de herbácea viva y Hojarasca.

## ANEXO 07: SIMBOLOGÍA

C	Carbono
T	Tonelada
ha	Héctarea
tb	Tonelada de biomasa
B	Biomasa
DAP	Diametro a la altura del pecho
M	Metro
VOL	Volumen
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dioxido de Carbono
MDL	Mecanismo de Desarrollo limpio
Bh-ca	Bosque húmedo de colinas altas
Bh-cb	Bosque húmedo de colinas bajas
Bh-llm	Bosque húmedo de llanura meandrica
Bh-ta	Bosque húmedo de terrazas altas
Bh-tb	Bosque humedo de terrazas bajas
Bh-tm	Bosque húmedo de terraza media
PFCs	Perfluorocarbonos
HFC	Hidrofluorocarbonos
VBC	volumen, biomasa o carbono
r	Radio