

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

Ciclo Optativo de Profesionalización en  
**GESTIÓN DE CALIDAD Y AUDITORIA AMBIENTAL**



**“Estimación de las Reservas de Carbono en la Biomasa  
Aérea de una Plantación de *Inga edulis* en Campo Verde,  
Ucayali”**

Trabajo de Titulación para Optar el Título de:

***INGENIERO FORESTAL***

Presentado por:

**Carlos Octavio Rueda Arana**

Lima – Perú

2014

## AGRADECIMIENTOS

Siendo consciente que una hoja no basta para mencionar a cada una de las personas que influyeron en mi desarrollo como profesional, quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a las que han contribuido de una u otra forma con este trabajo del cual me siento muy orgulloso.

A mi asesor del trabajo de investigación, Mg. Sc. Víctor Barrena Arroyo, por sus acertadas orientaciones y sugerencias durante todo el proceso.

A mis profesores y miembros de jurado, Carlos Vargas, Carlos Llerena, Julio Alegre por su apoyo en las últimas etapas de mi investigación.

A la empresa Bosques Amazónicos quien financió el estudio, hospedaje y traslados y brindo los árboles para el muestreo. Al Ingeniero Jorge Chávez, quien me ayudo y asesoró con el trabajo de campo, a los técnicos de campo y laboratorio que trabajaron hombro a hombro conmigo durante mi estadía en Campo Verde.

A Claudia Lozano por apoyarme con el contacto en la empresa, la etapa de campo y ser mi apoyo incansable durante el proceso. A Kesber S. por darme mayores luces en la parte estadística.

A mis padres, por su paciencia y soporte incondicional para que siga con mi investigación, gracias por las palabras de aliento. Ana Lucia Sánchez, por su gran amor y apoyo emocional. A mis hermanos Hugo y Ricardo, por su empuje, sus críticas y amistad; y por los años que nos tocan vivir en el futuro.

A los profesores de mi universidad: Rosa Maria Hermoza, Jorge Chávez, Fernando Regal, Ignacio Lombardi y Jose Luis Marcelo por resolver mis dudas o compartir sus experiencias.

A mis amigos de la universidad: Juana Llacsahuanga por todas las idas y vueltas en la universidad, a Pierre Cervera por el SI se puede, a Diego Olivera, Andrea Castañola, Alfredo Young, David Sifuentes, Natalia Woo, Daniel Guizado, Alejandra Franco, Carol Sencebe, Alejandra y Carolina Calle y el resto de compañeros de la universidad y del colegio que de una u otra forma me ayudaron con mi investigación.

## RESUMEN

Este estudio evaluó la cantidad de carbono de la biomasa aérea de los árboles de *Inga edulis* L. plantados en el distrito de Campo Verde, Ucayali.

Se estimó la biomasa aérea de los componentes (hojas, fuste y ramas) de cada árbol de la muestra, evaluándose en total 144 árboles. La muestra fue escogida de tal manera que represente a toda la población, para lo cual se hicieron análisis de la plantación en 65 parcelas distribuidas en todos los estratos. En el censo se determinaron 08 categorías diamétricas y su frecuencia en la población, la muestra escogida de 144 árboles mantuvo esa frecuencia.

Durante la evaluación destructiva, los componentes de cada árbol fueron pesados, luego se extrajeron sub-muestras la cuales fueron llevadas a laboratorio y secadas al horno hasta lograr temperatura constante, con el contenido de humedad de cada muestra se estimó el peso seco o biomasa de cada componente y mediante la suma de estos se obtuvo la biomasa del árbol.

A partir de estos datos se crearon ecuaciones a partir de modelos alométricos de crecimiento que estimen la biomasa aérea de los árboles de *Inga edulis*. La ecuación que mejor estimó la biomasa total de árboles individuales es  $\text{LnPT} = -1.289 + 0.032 \text{ DAC}^2 - 0.002 \text{ DAC}^3 + 1.131 \text{ LnDAC}$ . Con esta ecuación, se estimó la biomasa aérea de la plantación.

Los resultados del estudio indican que al año 2011 la biomasa aérea total fue de 6 180.21 toneladas para la plantación de *Inga edulis* y la cantidad de CO<sub>2</sub>-e almacenado al año 2011 fue de 11 330.38 tCO<sub>2</sub>-e. La variable que más se correlaciona con la biomasa aérea de la plantación de *Inga edulis* es (DAC).

Se logró generar información técnico-científica sobre las reservas de carbono de la plantación de *Inga edulis*; que servirá como base para la elaboración de potenciales proyectos de valoración de servicios ambientales

# ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	OBJETIVO PRINCIPAL.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
3	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1	CARBONO Y SU DINAMICA EN LA ATMOSFERA.....	4
3.1.1	Ciclo del carbono.....	4
3.1.2	Sumideros de carbono.....	5
3.2	CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PROBLEMÁTICA MUNDIAL.....	6
3.2.1	Efecto invernadero.....	6
3.2.2	Gases de efecto invernadero GEI.....	7
3.2.3	Problemática actual.....	8
3.3	ACUERDOS INTERNACIONALES PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	10
3.3.1	Respuestas institucionales, Creación de Organismos Científicos, Historia y Actualidad.....	10
3.3.2	Protocolo de Kyoto.....	12
3.3.3	Mercados de carbono.....	14
3.3.4	Actualidad y Tendencia Internacional.....	17
3.4	LOS BOSQUES NATURALES Y PLANTACIONES FORESTALES.....	20
3.4.1	Concepto de captura de carbono y los flujos de carbono en sistemas forestales.....	20
3.4.2	El papel de las áreas boscosas.....	21
3.4.3	Proyectos forestales en el mercado regulado y mercado voluntario:.....	23
3.4.4	Estimación de biomasa.....	24
3.4.5	Proceso estadístico para la elaboración de una ecuación alométrica de biomasa.....	26
3.4.6	Estudios previos realizados.....	30
3.4.7	Fracción de carbono.....	32
3.5	DESCRIPCION GENERAL DE LA ESPECIE.....	34
3.5.1	Aspectos Taxonómicos.....	34
3.5.2	Descripción Botánica.....	35
3.5.3	Distribución y Hábitat.....	36

3.5.4	Fenología, Polinización y Dispersión .....	36
3.5.5	Métodos de propagación .....	36
3.5.6	Usos.....	37
4	MATERIALES Y MÉTODOS .....	38
4.1	ZONA DE ESTUDIO .....	38
4.1.1	Ubicación Política y geográfica de la Propiedad .....	38
4.1.2	Accesibilidad.....	38
4.1.3	Clima.....	38
4.1.4	Ecología .....	39
4.1.5	Fisiografía y suelos .....	39
4.1.6	Capacidad de uso mayor de los suelos.....	39
4.1.7	Hidrografía.....	40
4.1.8	Vegetación .....	42
4.1.9	Fauna.....	43
4.1.10	Características del proyecto: .....	45
4.2	MATERIALES Y EQUIPOS .....	47
4.2.1	Materiales.....	47
4.2.2	Equipos .....	47
4.3	METODOLOGÍA .....	48
4.3.1	Fase de Preparación y diseño de la muestra.....	48
4.3.2	Fase de Campo .....	52
4.3.3	Fase de Transporte .....	56
4.3.4	Fase de Trabajo de laboratorio.....	57
4.3.5	Fase de gabinete.....	57
5	RESULTADOS Y DISCUSION .....	63
5.1	PREPARACIÓN Y DISEÑO DE LA MUESTRA.....	63
5.2	TRABAJO DE CAMPO .....	63
5.2.1	Numero de parcelas y Ubicación .....	63
5.2.2	Inventario .....	63
5.2.3	Evaluación destructiva y medición biomasa aérea.....	64
5.3	TRANSPORTE.....	69
5.4	TRABAJO DE LABORATORIO.....	69

5.4.1	Secado de muestras y Determinación de la biomasa seca de cada componente .....	69
5.5	TRABAJO DE GABINETE .....	74
5.5.1	Análisis estadístico y generación de Ecuaciones de regresión.....	74
5.5.2	Calculo de cantidad de Biomasa aérea y cantidad de carbono.....	78
5.6	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	79
5.6.1	Ecuación alométrica y servicios ambientales.....	79
5.6.2	Valoración económica.....	80
6	CONCLUSIONES .....	81
7	RECOMENDACIONES.....	82
8	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	83
9	ANEXOS .....	89
9.1	CRONOGRAMA.....	89
9.2	PRESUPUESTO TENTATIVO .....	89
9.3	UBICACION DE PARCELAS.....	90
9.4	FORMATOS.....	92
9.4.1	Ubicación parcelas (coordenadas) .....	92
9.4.2	Inventario de parcelas: formato de <i>Inga edulis</i> .....	92
9.4.3	Evaluación de biomasa aérea: <i>Inga edulis</i> .....	93
9.5	ANALISIS DE CARBONO LINEA BASE: .....	94
9.5.1	Definición del reservorio de carbono a evaluar: .....	94
9.5.2	Carbono en Pastos / Arbustos/ Hojarasca .....	96
9.5.3	Carbono en suelos de pastizales.....	98
9.5.4	Carbono en suelos de bosque primario residual.....	99

## *Lista de Cuadros:*

- CUADRO 1:** FRACCIÓN DE CARBONO EN *MAURITIA FLEXUOSA* L.F., *MAURITIELLAACULEATA* POR COMPONENTE
- CUADRO 2:** CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA *INGA EDULIS*
- CUADRO 3:** RÍOS Y QUEBRADAS DE LA PROPIEDAD – CAMPO VERDE
- CUADRO 4:** ESPECIES DE COBERTURA Y ALTURA MEDIA DE LAS ÁREAS CLASIFICADAS COMO PASTOS
- CUADRO 5:** TIPO DE VEGETACIÓN DE ACUERDO A LA UNIDAD FISIOGRAFICA
- CUADRO 6:** LAS PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA QUE SE ENCUENTRAN EN LAS ZONAS DE BOSQUES CERCA DE LOS LÍMITES
- CUADRO 7:** ESTRATOS DE LA PLANTACIÓN EN EL ÁREA VCS DE PROYECTO, SUB-DIVIDIDOS POR UNIDADES DE MANEJO FORESTAL
- CUADRO 8:** MODELOS DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS
- CUADRO 9:** CLASIFICACIÓN DIAMÉTRICA DE INDIVIDUOS
- CUADRO 10:** CLASIFICACIÓN DIAMÉTRICA DE INDIVIDUOS E INDIVIDUOS A EXTRAER
- CUADRO 11:** DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA DE 144 INDIVIDUOS A EXTRAER
- CUADRO 12:** TOMA DE DATOS EN CAMPO DE MUESTRA DE 144 ÁRBOLES DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 13:** ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN LA MEDICIÓN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 14:** RELACIÓN DAC VS HT DE 144 ÁRBOLES MUESTRA DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 15:** DATOS BIOMASA SECA DE COMPONENTES DE MUESTRA DE 144 ÁRBOLES DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 16:** PORCENTAJE DE BIOMASA POR COMPONENTE PARA LOS 144 DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 17:** ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS PESOS SECOS, RESULTADO DE EVALUACIÓN DESTRUCTIVA DE ÁRBOLES DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 18:** CUADRO DE DISPERSIÓN DE VARIABLES (HT Y BIOMASA) DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 19:** CUADRO DE DISPERSIÓN DE VARIABLES (DAC Y BIOMASA) DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 20:** CUADRO DE DISPERSIÓN DE VARIABLES (DAC Y LNBIOMASA) DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 21:** RESULTADOS DE PRUEBA ESTADÍSTICA EN EL PROGRAMA SPSS V19 DE LOS MODELOS DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS
- CUADRO 22:** RESULTADOS DE PRUEBA ESTADÍSTICA EN EL PROGRAMA SPSS V19 DE LOS MODELOS DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS
- CUADRO 23:** VARIABLES LNPT REAL Y LNPT ESTIMADO EN FUNCIÓN DEL DAC DE LA MUESTRA DE 144 ÁRBOLES DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 24:** VARIABLES PT REAL Y PT ESTIMADO EN FUNCIÓN DEL DAC DE LA MUESTRA DE 144 ÁRBOLES DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*
- CUADRO 25:** CANTIDAD DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DE LA ESPECIE *INGA EDULIS*

## ***Lista de Figuras:***

- FIGURA 1:** CICLO DEL CARBONO  
**FIGURA 2:** EL EFECTO INVERNADERO  
**FIGURA 3:** REPORTE DE EMISIONES DEL PERÚ 2009  
**FIGURA 4:** COMPROMISOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DEL PK  
**FIGURA 5:** COMPETENCIA DE MERCADOS 2009  
**FIGURA 6:** COMPETENCIA DE MERCADOS 2011  
**FIGURA 7:** TRANSACCIONES DE CARBONO POR VOLUMEN Y TIPO DE PROYECTO POR ORIGEN  
**FIGURA 8:** PORCENTAJE POR TIPO DE PROYECTO Y VOLUMEN DE TRANSACCION EN MTCO<sub>2</sub>  
**FIGURA 9:** TENDENCIA DEL PRECIO MEDIO DE CERTIFICADO DE CARBONO EN DOLARES 2010  
**FIGURA 10:** TENDENCIA DEL PRECIO MEDIO DE CERTIFICADO DE CARBONO EN DOLARES 2013  
**FIGURA 11:** PRECIO DE TRANSACCIÓN Y VOLUMEN POR PROYECTO, 2011  
**FIGURA 12:** DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LOS FLUJOS Y ALMACENES DE CARBONO EN UN ECOSISTEMA FORESTAL.  
**FIGURA 13:** RESERVORIOS DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA FORESTAL  
**FIGURA 14:** FRUTO DE *INGA EDULIS*  
**FIGURA 15:** MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO – PROYECTO CAMPO VERDE  
**FIGURA 16:** MAPA HIDROLÓGICO EN EL ÁREA DE PROYECTO  
**FIGURA 17:** PLANTACIÓN 2008 DE GUABA A LOS 6 MESES  
**FIGURA 18:** PLANTACIÓN 2008 DE GUABA A LOS 22 MESES  
**FIGURA 19:** MAPA DE LA PLANTACIÓN DE GUABA EN CAMPO VERDE  
**FIGURA 20:** MAPA DE REFERENCIA DE LA PLANTACIÓN  
**FIGURA 21:** SHAPE CON GRILLA 35X35M  
**FIGURA 22:** SHAPE CENTROIDES Y SUS COORDENADAS “XY”  
**FIGURA 23:** DIAGRAMA DE PARCELA DE MUESTREO  
**FIGURA 24:** EVALUACIÓN DEL DIÁMETRO ALTURA CUELLO EN CAMPO  
**FIGURA 25:** EVALUACIÓN DE LA ALTURA EN CAMPO  
**FIGURA 26:** DERRIBO DE ARBOLES  
**FIGURA 27:** PESADO DE HOJAS EN CAMPO  
**FIGURA 28:** PESADO DE MUESTRA -HOJAS EN CAMPO  
**FIGURA 29:** EMPAQUETADO DE MUESTRAS  
**FIGURA 30:** CLASIFICACIÓN DE EMPAQUE DE LA MUESTRA DEL ÁRBOL  
**FIGURA 31:** SECADO DE MUESTRAS EN LABORATORIO  
**FIGURA 32:** TOMA DE PESOS DURANTE SECADO

# 1 INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental que enfrentan las naciones es cada vez más compleja debido al desequilibrio creciente entre el crecimiento de la población mundial y la capacidad de los recursos para sustentar el aumento en la demanda de servicios ecosistémicos; como consecuencia de estos procesos se da un impacto negativo en nuestro medio de vida, la tierra.

El uso de combustibles fósiles y tecnologías industriales obsoletas, el cambio de uso del suelo y la destrucción de millones de hectáreas forestales están provocando un aumento en la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera. De acuerdo con estimaciones de la comunidad científica, se requiere un esfuerzo global para reducir las emisiones, que están acentuando el calentamiento global (FAO 2002). En relación con la contribución diferencial de cada gas de efecto invernadero (GEI) al calentamiento global, existe el acuerdo que el más importante es el CO<sub>2</sub> (Houghton y Woodwell, 1989). En los últimos 200 años el incremento ha sido de 280 a 375 ppm de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y sigue aumentando a tasa promedio superior a 1.5 ppm por año, la concentración recomendada para evitar los efectos del cambio climático es 350 ppm (ASB, 2005).

Entre las posibles consecuencias de este calentamiento global están la elevación de la temperatura de los océanos, la desaparición de glaciares, la elevación del nivel del mar, el aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos climatológicos extremos (como incendios forestales, sequías e inundaciones) debido a una mayor evaporación de agua, y superficies oceánicas más calientes. Este cambio afectaría severamente la disponibilidad de agua y alimentos, la continuidad de los servicios ambientales que producen los ecosistemas, y tendría importantes efectos en las actividades humanas así como desplazamientos de poblaciones afectadas (IPCC 2007). Según un estudio del Instituto Tyndall de Inglaterra, el Perú, después de Honduras y Bangladesh, es considerado el tercer país más vulnerable a éstos efectos de cambio climático (Larrea 2007).

Con la aprobación en 1997 del Protocolo de Kioto bajo el respaldo de la Organización de las naciones unidas (ONU), se establecieron las bases para desarrollar el mercado de carbono a nivel internacional como instrumento legal para reducir las emisiones de GEI en los países más industrializados y la adaptación al cambio climático de los países más vulnerables, bajo la normatividad de “la convención marco de las naciones unidas para el cambio climático” (CMNUCC) o UNFCCC por sus siglas en ingles. Los países más desarrollados se comprometieron a reducir de diversas formas sus emisiones en un 5% con respecto a las generadas en 1990 y a evaluar los resultados en el período 2008 – 2012 (OCIC 1998).

Desde entonces, cada año los países involucrados tienen una reunión llamada la conferencia de las partes (COP) la cual tiene la función de supervisar y examinar la aplicación del Protocolo y desarrollar el proceso de negociación entre las partes de la Convención (aproximadamente 150 países) ante nuevos compromisos y así lograr la meta de reducción de las emisiones de GEI. En el año 2012 se llevó a cabo la COP 18 en Qatar, donde los acuerdos finales mencionan la continuidad del protocolo de Kioto por un segundo periodo de compromiso y a pesar que al 2013 la meta no se ha logrado, cada año hay mayor interés por parte de los países involucrados en avanzar en conjunto. Un ejemplo de este interés es que en Diciembre, Lima será sede de la COP 20, donde se reúnen más de 150 países, colocando al Perú y propuestas adaptación y actividades de mitigación de cambio climático frente a los ojos de todo el mundo. Es una oportunidad de generar mayores avances y compromisos de inversión para mitigar los efectos del cambio climático en el país.

En el Último Inventario Nacional de emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI) MINAM 2009, el Sector Forestal contribuye el 40% de las emisiones del País, esto debido principalmente a las pérdidas de biomasa por la alta tasa de deforestación anual y las prácticas de roza y quema de los bosques. Por lo tanto iniciativas dentro del sector para reducir estos problemas tienen carácter de urgencia (MINAM-PlanCC 2013). Una de estas formas de reducción de emisiones son los programas Aforestación, Reforestación y Conservación para captura o almacenamiento de carbono, que son considerados instrumentos con enorme potencial para contribuir a la transición hacia el desarrollo sustentable del País. El interés en ellos surge de la información cada vez más alarmante, y mejor documentada, sobre el proceso de calentamiento global (IPCC, 2001).

Se estima que una hectárea de una plantación arbórea sana puede fijar alrededor de 5 a 10 toneladas anuales de CO<sub>2</sub> de la atmosfera, dependiendo de las condiciones del lugar y la especie, Por otro lado 1 hectárea de bosque deforestado puede emitir entre 200 y 400 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmosfera (FAO, 2001).

El presente estudio busca contribuir con la generación de información Técnico-científica que incremente la base de datos y referencias para la elaboración de proyectos de comercialización de créditos de carbono, mediante el aprovechamiento de las plantaciones forestales como sumideros de gases de efecto invernadero y como incentivo de desarrollo sostenible tanto económico, social y ambiental.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Generar información técnico-científica sobre las reservas de carbono almacenado en una plantación de *Inga edulis* en Ucayali; como base para la elaboración de potenciales proyectos de comercialización de créditos de carbono en la zona (en el marco de proyectos MDL o Voluntario) mediante el aprovechamiento sostenible de la especie.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Calcular la biomasa aérea (fuste, hojas y ramas) de los árboles de la plantación de *Inga edulis*.
- Calcular la proporción de Carbono los árboles de la plantación de *Inga edulis*.
- Generar ecuaciones que estimen el contenido de biomasa aérea del árbol (fuste, hojas, ramas).

## 3 REVISIÓN DE LITERATURA

### 3.1 CARBONO Y SU DINAMICA EN LA ATMOSFERA

El carbono (C) es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos, en los que se combina con nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno para constituir las moléculas más importantes para la vida (Jaramillo, 2004).

#### 3.1.1 Ciclo del carbono

El Carbono circula entre la materia orgánica y el ambiente físico-químico de manera constante. El movimiento del Carbono ocurre a diferentes escalas espacio-temporales, que van desde el nivel molecular hasta el global, como se observa en la Figura 1. El Carbono, en su unión molecular con el oxígeno, constituye el Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gas resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos, y cuya presencia en la atmósfera es fundamental en la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas de invernadero (Jaramillo, 2004).

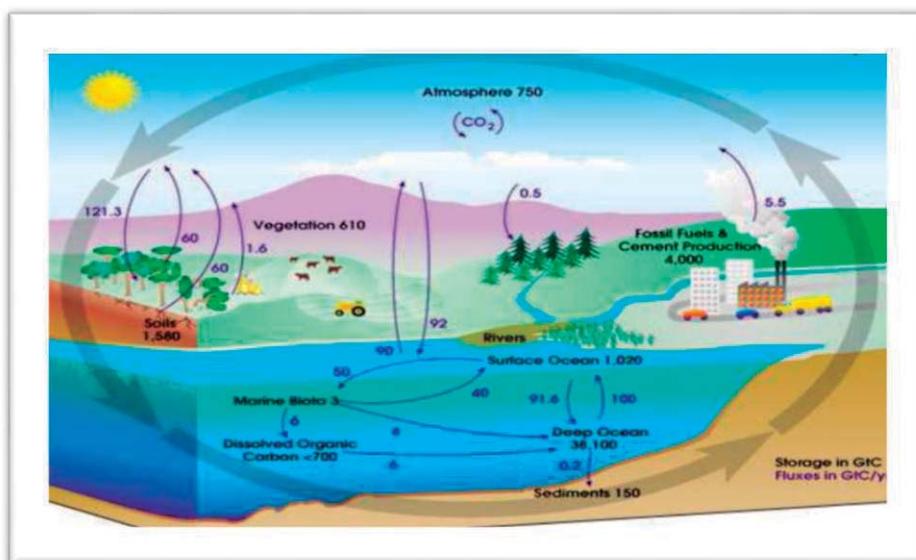


Figura 1: Ciclo del carbono

Fuente: Wikipedia.org 2006. [www.es.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_del\\_carbono](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_carbono)

Comprende dos ciclos que se suceden a distintas velocidades:

- *Ciclo biológico*: comprende los intercambios de carbono ( $\text{CO}_2$ ) entre los seres vivos y la atmósfera; es decir, la fotosíntesis, proceso mediante el cual el carbono queda retenido en las plantas y la respiración que lo devuelve a la atmósfera. Este ciclo es relativamente rápido, estimándose que la renovación del carbono atmosférico se produzca cada 20 años.

- *Ciclo biogeoquímico*: regula la transferencia de carbono entre la atmósfera y la litosfera (océanos y suelo). El CO<sub>2</sub> atmosférico se disuelve con facilidad en agua, formando ácido carbónico, el cual ataca los silicatos que constituyen las rocas resultando iones bicarbonato. Estos iones disueltos en agua alcanzan el mar, son asimilados por los animales para formar sus tejidos, y tras su muerte se depositan en los sedimentos. El retorno a la atmósfera del carbono, se produce en las erupciones volcánicas tras la fusión de las rocas que lo contienen. Este último ciclo es de larga duración, al verse implicados los mecanismos geológicos. Además, hay ocasiones en las que la materia orgánica queda sepultada sin contacto con el oxígeno que la descompone, produciéndose así la fermentación que lo transforma en carbón, petróleo y gas natural (Larrea 2007).

El almacenamiento del carbono en los depósitos fósiles supone en la práctica una rebaja de los niveles atmosféricos de dióxido de carbono; Pero si los depósitos se liberan, como se viene haciendo desde tiempo inmemorial con el carbón, o más recientemente con el petróleo y el gas natural; el ciclo se desplaza hacia un nuevo equilibrio en el que la cantidad de CO<sub>2</sub> atmosférico es mayor; más aún si las posibilidades de reciclado del mismo se reducen al disminuir la masa boscosa y vegetal. La explotación de combustibles fósiles para sustentar las actividades industriales y de transporte junto con la deforestación son hoy día, las principales agresiones que sufre el planeta, con las consecuencias conocidas: cambio climático; generado por el efecto invernadero, la desertización, etc. (Larrea 2007).

### **3.1.2 Sumideros de carbono**

Se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Es necesario poder medir la biomasa cuando se considera la cuestión de los sumideros de carbono, ya que las mediciones de la biomasa proveen una estimación de la cantidad de carbono contenida en la vegetación. Por lo tanto, la biomasa representa una medida indirecta de la cantidad de carbono que es almacenada por la vegetación leñosa. La estimación de la biomasa también permite establecer la cantidad de dióxido de carbono que puede ser removido de la atmósfera gracias a la reforestación (Polzot, 2004).

Varios almacenes de carbono pueden ser identificados dentro de los sistemas forestales. Estos incluyen el suelo, la madera viva de los árboles, la madera subterránea en las raíces y la materia orgánica muerta en el piso del bosque. El carbono total almacenado en el ecosistema es simplemente la suma del carbono almacenado en los diferentes almacenes o depósitos (Masera *et al.*, 2000 citado por Dávalos *et al.*, 2008). El carbono almacenado es la cantidad total de Carbono contenido por la biomasa, mientras que el carbono “capturado” o “secuestrado” es una medida del flujo dinámico del crecimiento anual de la biomasa. (Dávalos *et al.*, 2008).

## **3.2 CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PROBLEMÁTICA MUNDIAL**

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) o UNFCCC por sus siglas en inglés define el cambio climático como un “cambio de 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 períodos de tiempo comparables”.

Las causas del problema del cambio climático se encuentran en nuestro modelo productivo y social, basado, desde el siglo XIX, en el uso creciente de la energía de una manera poco sostenible, que además procede en un 85% de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural. Según el Tercer Informe del IPCC, se observa que, si bien la evolución de la temperatura se puede explicar suficientemente bien sólo mediante causas naturales durante la primera mitad del siglo XX, no es así durante la segunda mitad. Sólo considerando el papel del ser humano es posible explicar el aumento de temperatura observado en el planeta en la segunda mitad del siglo pasado. Los incrementos de temperatura del siglo XX han sido, probablemente, los mayores ocurridos en un siglo en los últimos 1 000 años (Carreras *et al.*, 2007).

### **3.2.1 Efecto invernadero**

El cambio climático no puede entenderse sin antes explicar en qué consiste el efecto invernadero ya que es su principal causa. A la Tierra llega una cantidad de radiación solar, de la cual parte es reflejada al espacio (aproximadamente un tercio) y el resto es absorbida por los componentes del sistema climático (Figura 2): Atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera. Parte de las radiaciones absorbidas y emitidas por la Tierra quedan retenidas de forma similar a como sucedería en un invernadero, cuyo funcionamiento se basa en que el cristal que recubre las plantas deja pasar la radiación del Sol, y en cambio retiene la radiación emitida por el suelo y las plantas, creando un ambiente más cálido en el interior que en el exterior. Así pues, la atmósfera es prácticamente transparente para la radiación procedente del Sol (principalmente en la parte visible de onda corta del espectro), pero no ocurre lo mismo para la radiación de onda larga que proviene del planeta. Esta última es absorbida en parte por determinados gases presentes en la atmósfera (Echagüe, 2006).

Estos gases son conocidos como gases de efecto invernadero (Green house gases “GHG” por sus siglas en inglés), y desempeñan un importante papel en el calentamiento de la atmósfera, ya que gracias a su existencia, la temperatura de la Tierra tiene un valor medio global de unos 15 °C, esencial para la vida, en lugar de los -18 °C que tendría si estos gases no estuviesen presentes en la atmósfera (Echagüe, 2006).

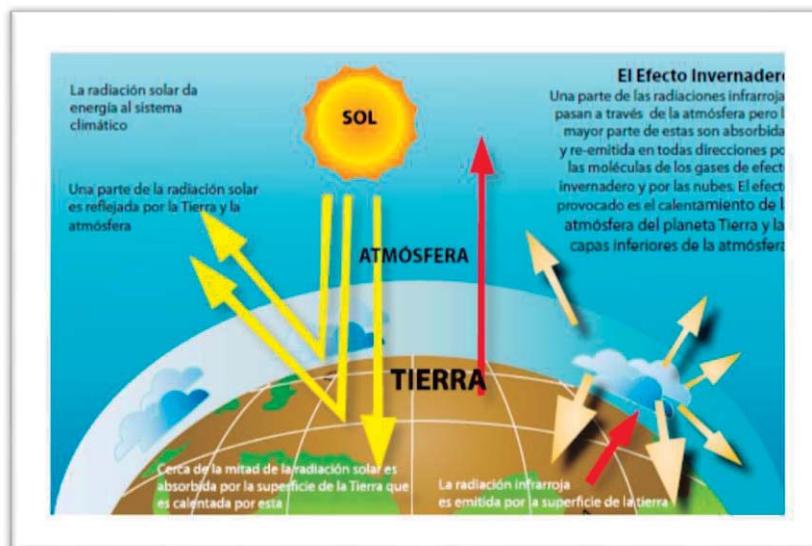


Figura 2: El Efecto Invernadero

Fuente: *Climate change 2007: The Physical Science Basis – (IPCC, 2007)*

### 3.2.2 Gases de efecto invernadero GEI

Se denominan "Gases de Efecto Invernadero" (GEI o GHG por sus siglas en inglés) aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y re-emiten radiación infrarroja (UNFCCC, 1998). Estos gases son: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

El Perú emite menos del 1% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) globales, un porcentaje muy reducido en comparación con Estados Unidos que produce el 25% de los GEI y Europa del este con 27% (La Republica, 2007). Los inventario de gases de efecto invernadero (GEI), realizado en el Perú en el año 1994, 2000 y 2009 confirmó que la mayor cantidad de emisiones de GEI (en unidades de  $\text{CO}_2$  equivalente) corresponde a la categoría no energética, sino al uso de suelos, cambio de uso de suelos y silvicultura (USCUSS o LULUCF por sus siglas en Inglés). De acuerdo al primer inventario nacional de 1994, estimó un total 98 817  $\text{GgCO}_2\text{eq}$  (1  $\text{Gg} = 1000 \text{ tCO}_2$ ), el segundo inventario nacional al año 2000 estimo un total de emisiones de 120 023  $\text{GgCO}_2\text{eq}$  y el tercer inventario al año 2009 estimo un total de 134 570  $\text{GgCO}_2\text{eq}$ ... En el subsector de cambio de uso del suelo y silvicultura al año 2009 se registró 52 946  $\text{GgCO}_2\text{eq}$ , representando el 39.3% de emisiones del país. Mayormente por la conversión del bosque en otras áreas (PlanCC, 2012).

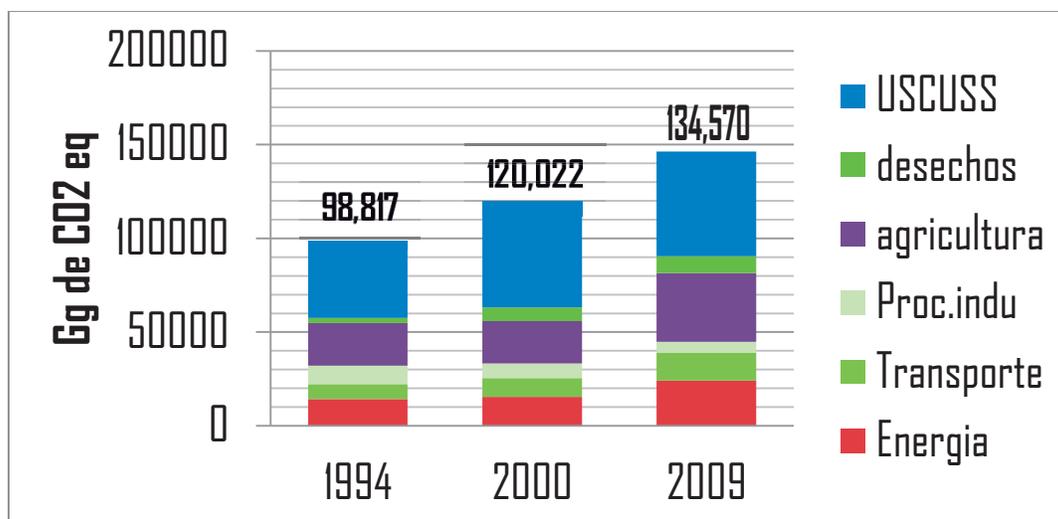


Figura 3: Reporte de Emisiones del Perú 2009

Fuente: Actualización de inventarios GEI 2009 - PlanCC

### 3.2.3 Problemática actual

Se prevé que el consumo de energía aumentará en un 50% en los próximos veinticinco años y que los países continúen dependiendo de combustibles fósiles para satisfacer sus necesidades. Se anticipa que las emisiones de dióxido de carbono (el gas que más contribuye al efecto invernadero) se duplicarán para el año 2030. El Perú, después de Honduras y Bangladesh, es el tercer país de Latinoamérica más vulnerable al cambio climático (Larrea 2007).

Entre otros, se espera cambios en la cantidad de precipitaciones, salinidad del mar, patrones de vientos, intensidad y duración de sequías, frecuencia de tormentas de lluvia, ondas de calor y ciclones tropicales. Asimismo existe evidencia que el nivel del mar está aumentando, los glaciares retrocediendo, que el hielo del océano Ártico se está haciendo más delgado y la incidencia de eventos extremos de clima se está incrementando en diversas partes del mundo (Universidad Austral de Chile - UACH, 2012).

La creciente demanda de recursos en el país debido a que el Perú ha experimentado un crecimiento poblacional superando en el año 2009 los 29 millones de habitantes. En los últimos diez años la pobreza ha disminuido, pasando de representar el 54,8% de la población en el 2001, a ser el 34,8% en el 2009 (MEF, 2010). Por otro lado, el consumo final total de energía ha crecido en un 50% entre el 2000 y el 2009 (MINEM, Anuario Estadístico de Electricidad, 2009b), debido no solo a un aumento de la demanda, sino también a un crecimiento en el parque automotor, un proceso de expansión de la electrificación rural y un significativo cambio en la matriz energética con la entrada del gas natural, la cual afectó la

composición de la matriz eléctrica que pasó de estar conformada en un 80% por energía hidroeléctrica y un 20% por energía térmica en el 2000, a tener una composición de 60% de hidroeléctrica, 35% de gas natural y 5% de térmica en el 2009 (MINEM, Balance de Energía, 2009a).

En nuestro país, el 98% del agua se encuentra en la cuenca del Amazonas, precisamente donde existe muy poca actividad productiva industrial. El 1,7% está en la cuenca del Pacífico, donde se ubica el 60% de la población y el 70% de las actividades productivas, lo cual implica que en algún momento las deficiencias de agua serán mayores, aunque ya en algunas provincias ha comenzado a vivirse la situación, son ejemplos Ica y Huancavelica, lo que podría causar a futuro el desplazamiento de la población en búsqueda de recursos. Un grupo de diez países reúne el 80% de los bosques primarios del mundo, en este grupo, Indonesia, México, Papúa Nueva Guinea y Brasil experimentaron las mayores pérdidas de bosques primarios entre 2000 y 2005 (Larrea 2007).

Los efectos del cambio climático serán distintos de acuerdo a las zonas geográficas, sin embargo, la mayor parte de la población afectada se encontrará en países en desarrollo, quienes son más vulnerables y con menor capacidad de adaptación a las nuevas condiciones ambientales.

Los bosques constituyen un componente fundamental del ciclo de carbono del planeta, en ellos se produce el 80% del intercambio entre la superficie terrestre y la atmósfera, sin embargo, la deforestación tropical actualmente es causa de las emisiones de alrededor de 1 800 millones de toneladas de carbono al año (FAO, 2001). En la selva peruana se deforesta media hectárea por minuto (0,5 ha/minuto) (INRENA, 2001). Recientes publicaciones de FAO indican que el stock de carbono del Perú se ha reducido de 8831 a 8560 millones de toneladas en el periodo 1990-2010 (FRA 2010). Esta información se complementa al ver las estadísticas de la publicación “Perú 2008 Indicadores ambientales – INEI” donde la superficie boscosa del Perú se está reduciendo considerablemente a través de los años de 70 156 a 68 742 millones de Hectáreas de bosque durante el periodo 1990 - 2005 (INEI 2008). Como información adicional el Ministerio de Agricultura estima una tasa promedio de deforestación en el período 2000 – 2009 de 123 203 ha/año (MINAG 2010)

Una plantación de árboles es considerada un sumidero de carbono, ya que el árbol tiene en su biomasa seca entre 42% a 50% de carbono. Para estudios referentes a sumideros de carbono es necesario poder medir la biomasa, puesto que las mediciones de la biomasa proveen una estimación de la cantidad de carbono contenida en la vegetación. Por lo tanto, la biomasa representa una medida indirecta de la cantidad de carbono que es almacenada por la vegetación leñosa. La estimación de la biomasa también permite establecer la cantidad de dióxido de carbono que puede ser removida de la atmósfera por la reforestación (Polzot 2004, citado por Dávalos *et al.*, 2008).

El Perú es uno de los países con más posibilidades de generar mitigación de cambio climático y acceder a los mercados de carbono, pues según el Plan Nacional de Reforestación (2006) se menciona que el Perú cuenta con 10.5 millones de hectáreas de tierras aptas para la instalación de plantaciones forestales: 7.5 en sierra, 2.5 en selva y 0.5 en costa; y al desarrollar proyectos de captura de carbono en sus bosques y plantaciones, serían considerados como instrumentos con enorme potencial para contribuir a la transición hacia el desarrollo sustentable de sus zonas más pobres o alejadas; esto concuerda con la política nacional de medio ambiente “Avanzar la ciencia y la práctica de la forestería/agroforestería para transformar las vidas y paisajes de los pobres rurales de los países en vías de desarrollo, contribuyendo a la seguridad alimenticia, la generación de ingresos, la conservación y restauración del medioambiente”(MINAM 2009).

### **3.3 ACUERDOS INTERNACIONALES PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

#### **3.3.1 Respuestas institucionales, Creación de Organismos Científicos, Historia y Actualidad**

Desde la celebración de la primera conferencia mundial del clima en 1979, ha existido una creciente preocupación entre la relación del clima con el ser humano. Durante la década de 1980 con la preocupación en aumento, los gobiernos tomaron cada vez más conciencia de los problemas medio ambientales y nace la inquietud internacional de crear un grupo de expertos sobre el cambio climático (Alvarez Gallego 2009).

No fue hasta 1988 cuando finalmente la Asamblea General de la ONU aprobó una resolución en la que se pedía “la protección del clima para las generaciones actuales y futuras de la humanidad” y se creó el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC en sus siglas en ingles), con el fin de orientar y evaluar la información científica sobre este tema.

En 1990 en la segunda conferencia mundial sobre el clima (Ginebra, 1990) se presenta el primer informe del IPCC donde se confirma que la amenaza del cambio climático de origen antropogénico era real; Actualmente se encuentran realizando el quinto informe donde se brindan nuevas evidencias y resultados más precisos de estudios científicos independientes alrededor del mundo y se establecen proyecciones a futuro de los impactos globales a través de simuladores de cambio climático, así como el manejo de riesgos de los desastres naturales producto del cambio climático (Summary for Policymakers, IPCC WGI Fifth Assessment Report, IPCC draft, 2013).

Producto de esto la ONU se vio en la necesidad de crear un nuevo foro internacional sobre el cambio climático, varios meses después se realizó la adopción de la Convención Marco De Las Naciones Unidas

Para El Cambio Climático (CMCC); (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) firmada el 4 de Junio en la cumbre de Rio de Janeiro 1992 (Brasil), a partir del año 1994 entro en vigor e incluye a 188 estados que se reúnen anualmente en convenciones llamadas Conferencias de las Partes (COP) para tomar decisiones o buscar soluciones sobre temas de cambio climático.

Se establecieron los siguientes compromisos (CONAM, 2001 a):

- Elaborar un inventario de las emisiones.
- Programas nacionales de mitigación y adaptación.
- Desarrollo de transferencia de tecnologías de sectores
- Promover la gestión sostenible de sumideros

Unos años después, durante el COP 3 realizado en Kyoto 1997, tras negociaciones intensas se adoptó el protocolo de Kyoto, donde se introdujo objetivos vinculantes para la reducción de emisiones de gases GEI para 37 países industrializados en el periodo 2008-2012 y no fue hasta la COP 7 Marrakech 2001 donde se completaron las negociaciones del protocolo de Kyoto y se incluyó solo los procesos de Forestación y Reforestación como sumideros de carbono aptos para su transacción para el objetivo a cumplir en 2012 (Alvarez Gallego 2009).

Durante la COP 15 realizada en Copenhague 2009, se generó una gran audiencia y expectativa global, muchos países estaban interesados en lograr acuerdos tangibles para cumplir los compromisos adquiridos en el protocolo de Kioto, sin embargo luego de exhaustivas negociaciones el logro más resaltante solo fue la creación de un fondo verde de 100 billones de dólares hasta el 2020 para apoyar a los países más vulnerables al cambio climático y el compromiso de los gobiernos de los países desarrollados en limitar el incremento global de temperatura en 2 grados Celsius como máximo; el gran problema es que no se tuvo un acuerdo en cómo lograrlo (COP15, Copenhague 2009). De cierta forma se cambió la estrategia principal de reducir las causas del cambio climático a la de mitigar los impactos climáticos, creando gran frustración entre científicos, ONG's y la población en general. Una de las razones por las que se tuvo estos cambios, fue la grave crisis económica que afecto tanto a USA como a muchos países de Europa lo cual les impedía exigir a sus gobiernos más inversión y compromiso en las actividades de mitigación del cambio climático por lo tanto las restricciones presupuestarias y las fragilidades financieras en buena parte de los países desarrollados limitaban compromisos más generosos de esos países, por razones vinculadas también con los procesos políticos internos (Ciencia de la Tierra Wordpress, 2009).

Finalmente, luego de 2 años de negociaciones poco fructíferas en la COP 16: Cancún y COP 17: Durban, en diciembre del año 2012, se llevó a cabo la COP 18 en Qatar, donde los acuerdos finales mencionan la

continuidad del protocolo de Kioto por un segundo periodo de compromiso de 8 años, la finalización del plan de apoyo tecnológico y científico para proyectos de reducción de emisiones en los países en desarrollo. Además, Como resultado de la necesidad de reflejar las preocupaciones de todos los países y lograr un equilibrio aceptable en un contexto de consensos lábiles, el acuerdo incluye por primera vez, de manera formal, la instauración de un proceso para atender las cuestiones relacionadas con las pérdidas y daños debidos al cambio climático. Se decide establecer arreglos institucionales, tales como un mecanismo internacional que permita hacer frente a los daños y las pérdidas asociadas con los impactos del cambio climático en los países en desarrollo que son particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático. Esos arreglos institucionales debieran estar completados a fines de 2013. Para esto se presentó un procedimiento de compensación por el cual los países que fueron los principales emisores aceptan compensar los daños ocasionados. Aunque no se haya determinado la magnitud de las contingencias y la dimensión de los pasivos, y se recomienda adoptar medidas precautorias, la introducción de la noción de compensación, y el consecuente apoyo financiero, tecnológico y de capacidades, aún con la cautela textual con la que se ha concretado, constituye por cierto un cambio sustantivo (Finanzas Carbono: COP 18, 2013). Finalmente el la COP 19 ocurrida en Varsovia, se logró incluir a los Proyectos REDD como mecanismo valido para reducir emisiones y un fondo verde de inversión para estas iniciativas. Durante la COP 20 que se realizara en Lima, se espera validar los procesos de monitoreo, reporte y verificación de los proyectos REDD y sentar las bases científica y políticas que serán debatidas en la COP21 a realizarse en Paris en 2015, donde se va definir los compromisos de mitigación del cambio climático que los países desarrollados y en desarrollo deberán cumplir y el método de financiamiento (Finanzas Carbono: COP 19, 2014)

### **3.3.2 Protocolo de Kyoto**

El Protocolo de Kyoto, desarrollado en 1997 y que entró en vigor en febrero de 2005, establece limitaciones cuantitativas de las emisiones de los GEI para los países industrializados y aquellos en transición a economías de mercado (países del Anexo I). Estos países asumen el compromiso de reducir, individual o colectivamente, durante el quinquenio 2008-2012 al menos un 5,2% sus emisiones antropógenas de los Gases de efecto invernadero (GEI), como se muestra en la figura 4, con objeto de control con respecto a las emisiones de 1990 (Greenpeace, 2006).

El Protocolo de Kyoto, donde participa Perú y otros 140 países, prevé reducir sustancialmente los GEI de origen antropogénico (generados por el hombre) como:

- CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono)
  - ✓ Captura por fotosíntesis
  - ✓ Liberación por respiración, descomposición y quemas

- N<sub>2</sub>O (óxido nitroso)
  - ✓ Subproducto de la nitrificación y desnitrificación
- CH<sub>4</sub> (metano)
  - ✓ Generado en procesos de descomposición anaeróbica en suelos, compostados y abonos (en proceso o almacenados)
  - ✓ Fermentación entérica
  - ✓ Combustión incompleta de materia orgánica
- NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, NMVOC, CO (precursores de GEI's)
  - ✓ Combustión
  - ✓ Procesos en suelos (lixiviación y escorrentía)

En las negociaciones del Protocolo de Kyoto, se hizo ver la presión hacia los diferentes países para la reducción de los GEI aunque fuera de manera simbólica. Es por esta razón que se ideó la manera para que fuera posible la transacción mediante “compensaciones” de carbono, esto incluye a los bonos de carbono provenientes de plantaciones forestales, con ello se cumplirían las metas de reducción de las emisiones en los países más desarrollados (IUCN, 2002).

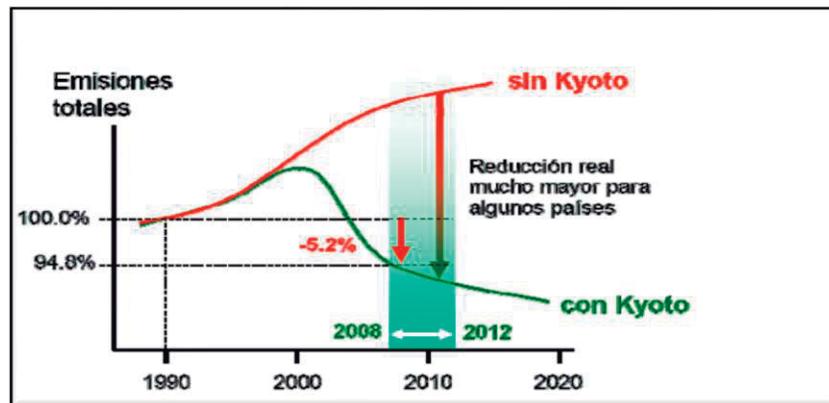


Figura 4. Compromisos de reducción de emisiones del PK.

*Fuente: Optimización de la planificación forestal considerando la captura de carbono, México, Sergio Alvarez Gallego 2009*

Los mecanismos del protocolo incluyen:

- Implementación conjunta (I.C)
- Comercio de emisiones (C.E.)
- Mecanismos de desarrollo limpio (MDL)

De las cuales los primeros dos mecanismos son desarrollados para los países desarrollados y el último es para países en vías de desarrollo (países NO anexo I).

El MDL es una opción en los países en vías de desarrollo para alcanzar la sostenibilidad, mediante la mejora de tecnología y el uso de fuentes energéticas renovables y eficientes. En el Perú este tema se está trabajando con un grupo de consultores del FONAM y una junta directiva del MINAM. (Burga 2010)

El protocolo de Kioto al año 2013 tiene registrados 5200 Proyectos en 80 países, 50 Programas de actividades en 27 países, sumando un volumen total de más de 10 000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> capturado y un valor en transacciones de 215 000 millones de dólares a lo largo de 10 años desde su aplicación, se espera que para el segundo periodo de compromiso que debe entrar en vigor en la Conferencia de las Partes (COP-21) París 2015, se firmen acuerdos importantes de compromisos de reducción de emisiones (Finanzas Carbono, 2013).

### **3.3.3 Mercados de carbono**

Los mercados de créditos de carbono son sistemas de comercio a través de los cuáles los gobiernos, las empresas o individuos pueden vender o adquirir reducciones o “compensaciones” de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) Los mercados de carbono son un medio innovador y complementario para transferir tecnologías y sistemas de gestión más limpios a los países en vías de desarrollo a la vez que ponen límites y precio a las emisiones (CeroCo2, 2008).

Durante la última COP 18 realizada en Qatar, donde los acuerdos finales mencionan la continuidad del protocolo de Kioto por un segundo periodo de compromiso de 8 años y la finalización del plan de apoyo tecnológico y científico para proyectos de reducción de emisiones en los países en desarrollo. Se mencionó una evolución del PK hacia una nueva forma de cuantificar las “compensaciones” de carbono que son transferidas como Bonos de carbono. Pasará de cuantificar no solo la captura de gases GEI, sino de cuantificar los servicios ambientales en general tanto, conservación ecológica, beneficios sociales y mejora en los sistemas naturales de agua y suelos. Esto producto de los beneficios extras que los proyectos del tipo REDD+ genera y que no son cuantificados aun. Esta evolución será discutida en los próximos años durante las COP venideras. Actualmente en la COP 19 en Varsovia, se iniciaron negociaciones para incluir a todos los países participantes en el proceso de reducción de emisiones mundiales, esto involucra tener una responsabilidad compartida pero diferenciada de acuerdo al nivel de desarrollo, además de la creación de un fondo verde que apoye a los países más vulnerables frente al cambio climático. La COP 20 se realizara en Perú en diciembre 2014, donde se finalizaran las negociaciones y se presentaran los borradores de los compromisos de reducción de emisiones de cada país que deberán ser debatidos y aprobados en la COP 21 en Paris. (Finanzas Carbono, 2013).

### **3.3.3.1 Mercados regulados**

Estos mercados están regulados por el Protocolo de Kyoto (compra/venta de derechos). Permite la compra/venta de los derechos de emisión creados y asignados entre los distintos países miembros del Anexo I-El emitir menos de lo permitido deja un margen de permisos de emisión (o derechos) que pueden ser vendidos a otros países que, por diferentes razones, no lograron emitir menos de los establecido (CeroCo2, 2008). Existen 3 mercados regulados:

#### **A. Certificado de emisiones (CE)**

El certificado de emisiones es el mecanismo que permite la transferencia de Reducciones de carbono “no usadas”, entre países industrializados que tengan sus Derechos de emisión por debajo de los límites permitidos; con aquellos que han Excedido sus niveles en un período de cumplimiento dado, este proceso se conoce en el mercado como “Cap & Trade”. Las unidades de venta se Denominan Assigned Amount Units (AAU’s por sus siglas en inglés). (*Castro, et al.2002*).

#### **B. Implementación conjunta (IC)**

Como su nombre lo indica, este mecanismo permite la reducción de emisiones de Carbono de manera conjunta entre los países del Anexo I. En este caso, se acreditan unidades de reducción de emisiones a favor del o los Países que financian proyectos de mitigación de cambio climático en los países del Anexo I. Las unidades de Venta se denominan Emission Reduction Units, ERU’s por sus siglas en inglés. (UNFCCC, 2005).

#### **C. Mecanismos de desarrollo limpio (MDL)**

Este mecanismo consiste en un sistema para obtener financiación adicional para los proyectos destinados al desarrollo sostenible, de forma que los países desarrollados puedan restar de sus emisiones la reducción obtenida en los proyectos que financien. (Echagüe, 2006) Los proyectos deberán ser aprobados por las partes involucradas, conducir a un desarrollo sostenible en los países anfitriones y deben resultar en beneficios reales, mensurables y a largo plazo en cuanto a la mitigación al cambio climático. Las reducciones deben ser adicionales a aquellas reducciones que pudieran ocurrir en ausencia de la actividad del proyecto. (FONAM, 2008).

Perú hasta el año 2013 ha ratificado el Protocolo de Kyoto, por lo que se puede beneficiar de este mecanismo.

### **3.3.3.2 Mercados Voluntarios**

Además de los mercados oficiales, han aparecido nuevos mercados: Los mercados voluntarios consisten en un número de diversos estándares de certificación de reducción de emisiones de carbono. Se entiende

como diversas transacciones individuales negociadas por ciudadanos particulares, organizaciones privadas o públicas. Los actores mencionados participan activamente por su voluntad de tomar conciencia y responsabilidad de sus emisiones de GEI. Los mercados voluntarios emulan la estructura de los mercados regulados (Larrea 2007).

Como piloto para la captura de gases de efecto invernadero, el CCX - Chicago Climate Exchange, Illinois, USA), funcionó del 2003 al 2006, actualmente le tomó la posta Oregon – Estados Unidos y New South Wales NSW Australia, dada la carencia de compromiso de muchos países frente a la iniciativa del PK y la falta de la actividad de la legislación de gases de efecto invernadero, un número de esquemas reguladores han emergido en torno a los gases de efecto invernadero. Dos de los más prominentes de éstos son el esquema de la disminución de NSW de Australia (cubierto por separado por Market Watch<sup>1</sup>) y el estándar del CO<sub>2</sub> de Oregon, que generan un gran impacto a nivel de estos gobiernos.

Dentro de los estándares voluntarios Forestales más utilizados al año 2013 se encuentran el Voluntary Carbon Standard (VCS), Climate Action Reserve (CAR), Carbon Fix, Gold Standard Foundation (GS), Plan Vivo y el Climate, Community and Biodiversity Alliance (CCBA). La tendencia actual en estos estándares es incluir además de la medición de captura de carbono, los conceptos de Sostenibilidad Ambiental y social tan necesarios en los proyectos de este tipo, donde los ecosistemas y las comunidades más cercanas son beneficiadas o afectadas (Estado del Mercado Voluntario de Carbono, 2012).

Existe un reporte anual de los mercados voluntarios: El informe del *Estado de los Mercados Voluntarios de Carbono 2012: Dimensión en Desarrollo* es el sexto informe anual creado para conocer los volúmenes de créditos intercambiados, precios, tipos de proyectos, lugares, y motivaciones de los compradores, que de forma voluntaria compran créditos de carbono. Las conclusiones se basan en los datos reportados por 312 proveedores del mercado voluntario, siete bolsas de intercambio de créditos y todos los registros importantes (Estado del Mercado Voluntario de Carbono, 2012).

A continuación la participación global de los diferentes estándares de certificación voluntarios y su influencia en el mercado global a través de los años, se puede apreciar que los estándares de certificación más representativos son Verified Carbon Standard, Climate Action reserve (CAR) y Gold Standard Foundation (GS) con casi el 82% de las reducciones generadas dentro del mercado voluntario al 2012.

---

<sup>1</sup> Página Web: [http://www.ecosystemmarketplace.com/pages/dynamic/marketwatch.landing\\_page.php](http://www.ecosystemmarketplace.com/pages/dynamic/marketwatch.landing_page.php)

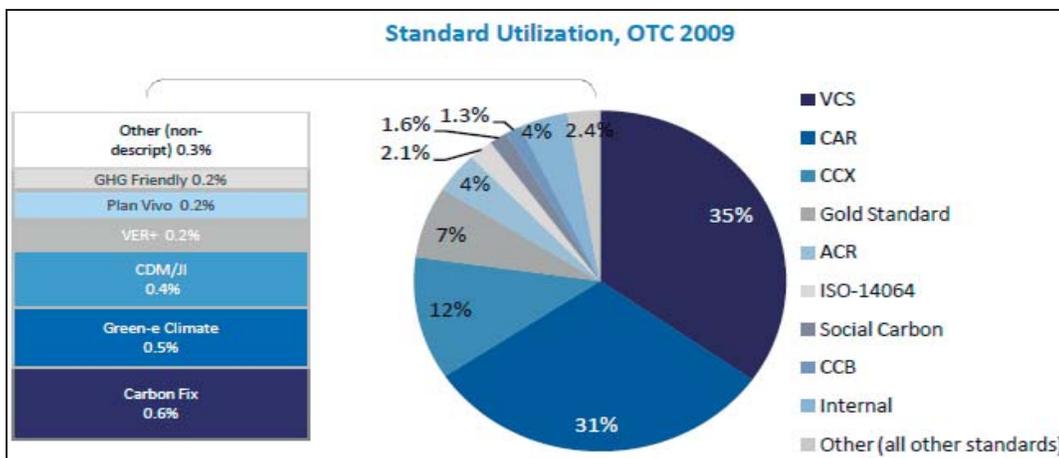


Figura 5: competencia de mercados 2009.

Fuente: *State of the Voluntary carbon markets 2010*<sup>2</sup>

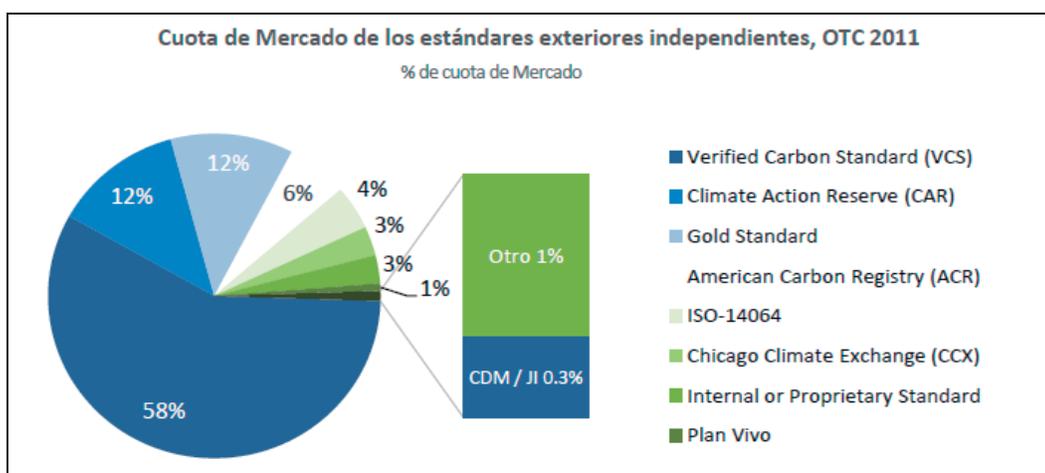


Figura 6: competencia de mercados 2011.

Fuente: *State of the Voluntary carbon markets 2012*

### 3.3.4 Actualidad y Tendencia Internacional

Luego de las crisis del 2009, tanto el mercado oficial como el voluntario tuvieron una reducción significativa de sus transacciones y el valor de sus unidades de venta (CER y VER) respectivamente, el mercado regulado continuo con el aumento de sus volúmenes y transacciones, pero el precio se desplomo hasta casi los \$2 a \$4 por tonelada promedio mientras el mercado voluntario su precio es de \$5 a \$10 la tonelada en promedio. A pesar de esto en el 2011 y 2012, el mercado voluntario de carbono demostró su capacidad de recuperación ya que los compradores Europeos aumentaron su compra de compensaciones de carbono, incluso con sus sonantes problemas financieros, aunque, eso sí, a un precio más bajo. Por otro

<sup>2</sup> Página Web: [http://www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_2434.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_2434.pdf)

lado los compradores de EE.UU. y los mercados emergentes intervinieron para compensar el déficit. En conjunto, se tramitó el segundo volumen de créditos y el valor más alto rastreados por ésta publicación (“State of the Voluntary Markets 2012”). Además se ampliaron los horizontes del mercado voluntario de compensaciones captando nuevos países, nuevos tipos de proyectos (sociales, agua y biodiversidad) y nuevos compradores.

### A. Transacciones:

En el mundo, las transacciones de carbono varían mucho de acuerdo a la zona de origen de proyecto, a continuación un mapa con los volúmenes de transacción y tipo de proyecto dependiendo del sitio de origen, se puede apreciar que el Perú tiene buen potencial en volumen (hasta 3Mt CO<sub>2</sub>) y un mayor potencial en proyectos de origen forestal y REDD.

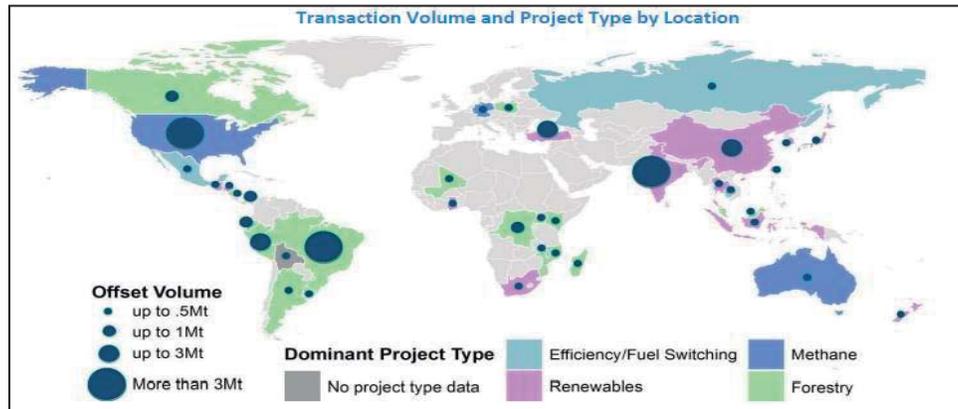


Figura 7: Transacciones de carbono por volumen y tipo de proyecto por origen.

Fuente: Ecosystem marketplace ([http://www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_3164.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_3164.pdf))

Ademas a nivel mundial los proyectos carbono forestales como REDD+ estan retomando importancia, al 2012 los proyectos relacionados a “Bosques y Uso de suelo” componen el 32% del total de volumen de tCO<sub>2</sub> intercambiado el mercado voluntario, sumando 24 millones de tCO<sub>2</sub>. (Estado del Mercado Voluntario de Carbono, 2013).

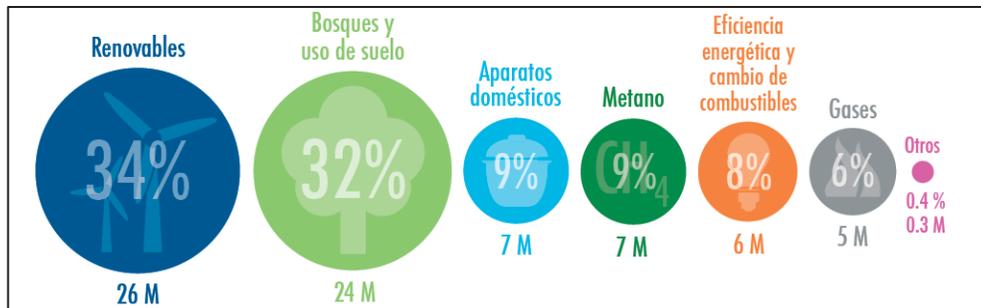


Figura 8: Porcentaje por tipo de proyecto y volumen de transaccion en MtCO<sub>2</sub>

Fuente: Ecosystem marketplace, Estado del Mercado Voluntario de Carbono, 2013

**B. Precios:**

Los precios promedios en el 2010 de los certificados de carbono capturado de los diferentes mercados regulados (CER) y voluntarios (EUA) a nivel mundial han disminuido debido a la crisis financiera ocurrida en 2009 en USA y 2012 en EU. El promedio al año 2010 fue de \$16.6 oficial (CER) y \$18 voluntario (EUA) por certificado de reducción, conforme pasaron los años de crisis financiera los precios fueron cayendo.

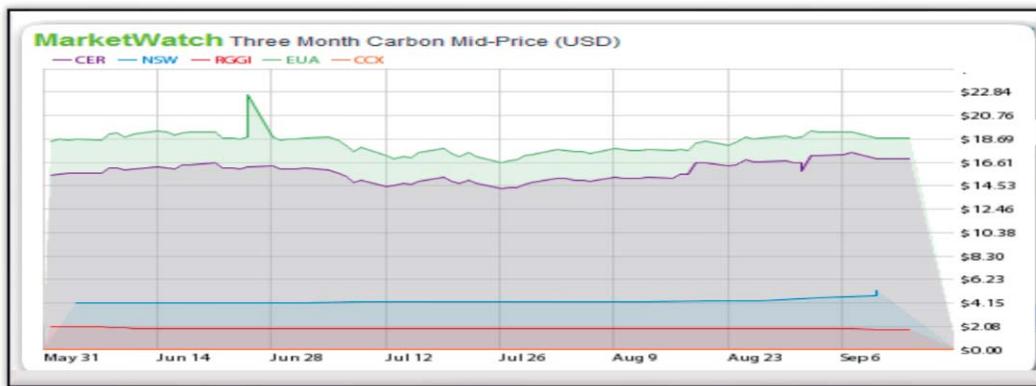


Figura 9: Tendencia del precio medio de certificado de carbono en dolares 2010

Fuente: Ecosystem marketplace.

Al año 2013 los precios promedios se han reducido aún más, sin embargo el mercado voluntario no ha sufrido una caída tan drástica e incluso ha tenido una tendencia al alza desde el año 2011 (año en que alcanzó su punto más bajo). Actualmente se encuentran en un promedio de \$10.26 voluntario (EUA) frente al promedio de \$1 de mercado oficial (CER).

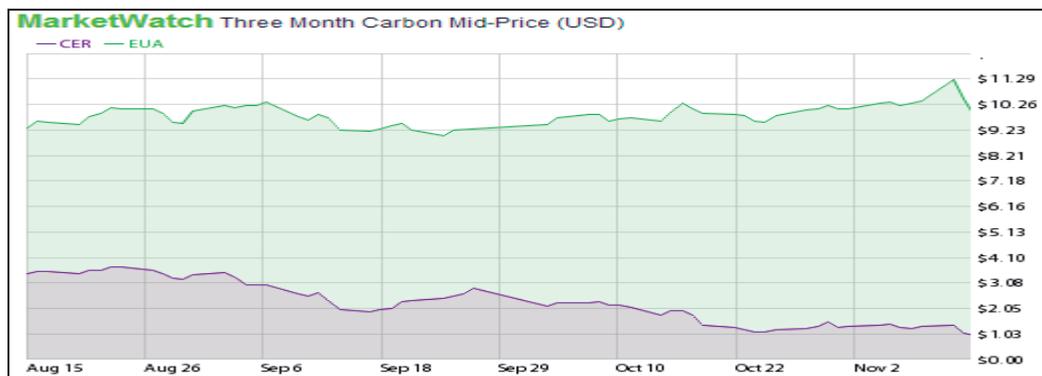


Figura 10: Tendencia del precio medio de certificado de carbono en dolares 2013

Fuente: Ecosystem marketplace (<http://www.ecosystemmarketplace.com/>)

Sin embargo se puede apreciar que el precio de transacción y volumen generado varía considerablemente por tipo de proyecto, el precio puede ir de 1 dólar a más de 120 \$/tCO<sub>2</sub>, esto depende de los beneficios extras que generen el proyecto y el grado de tecnología que se utiliza. En la figura 11 se muestra el precio de tonelada contrastado con el volumen generado en el 2011 por tipo de proyecto, los proyectos con más rentabilidad por tonelada son, tratamiento de metano, eólicos, Biomasa, solares, cocinas mejoradas, reforestación y micro hidro, en ese orden.

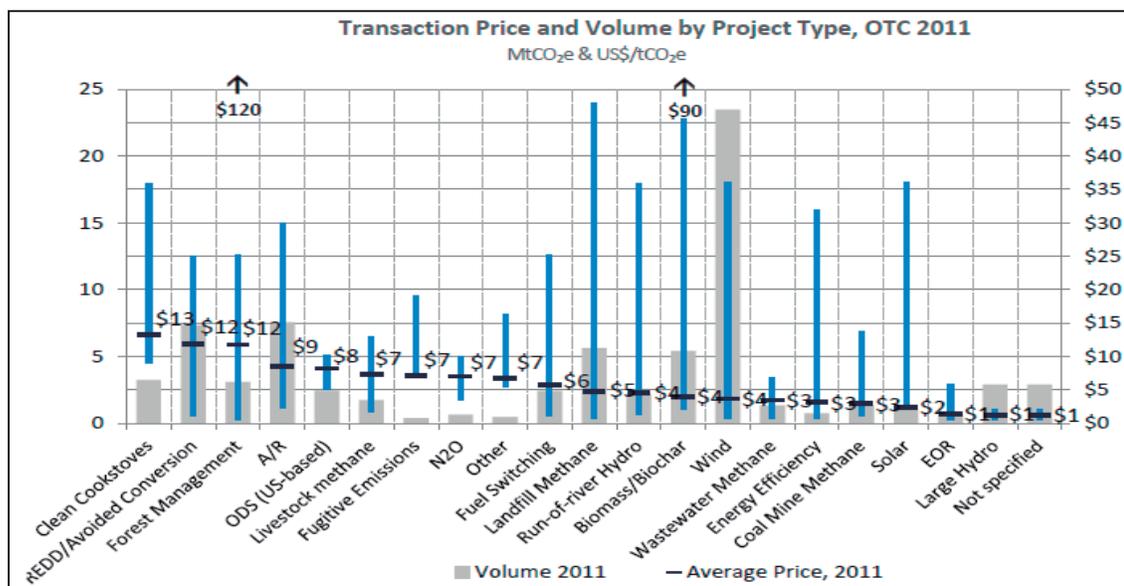


Figura 11: Precio de transacción y volumen por proyecto, 2011

Fuente: Ecosystem Marketplace, *El Estado y Tendencias del Mercado de Carbono 2012 del Banco Mundial*

([http://www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_3164.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_3164.pdf))

### 3.4 LOS BOSQUES NATURALES Y PLANTACIONES FORESTALES

#### 3.4.1 Concepto de captura de carbono y los flujos de carbono en sistemas forestales

La captura de carbono es un concepto abstracto que requiere de la comparación y análisis de 2 posibles escenarios de acuerdo a la situación determinada. En una primera situación, un escenario es denominado *Línea Base*, se caracteriza por ser el bosque sin alteraciones ni extracciones y es comparado con el escenario denominado *proyecto* que se caracteriza por ser el escenario de gestión forestal sostenible, un ejemplo de este tipo de proyectos son los denominados REDD (Reducción de emisiones por deforestación y degradación); en una segunda situación, el escenario de *línea base* es una extensión de tierra marginal, sin mucha productividad y es comparado con el escenario denominado *proyecto* que se caracteriza por la

plantación y manejo del futuro bosque, un ejemplo de este tipo de proyectos son las plantaciones de especies maderables. La diferencia de emisiones de ambos escenarios (Línea Base vs Proyección) nos va dar la captura neta de carbono que tiene el proyecto forestal.

Con respecto a los flujos, toda vegetación asimila  $\text{CO}_2$  atmosférico por medio del proceso fotosintético, además de otros elementos en suelos y aire para convertirlos en madera. La cantidad de  $\text{CO}_2$  que un árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual de la biomasa en el árbol multiplicado por el porcentaje de biomasa del árbol que contiene carbono. Aproximadamente 42% a 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono (Alvarez Gallego 2009).

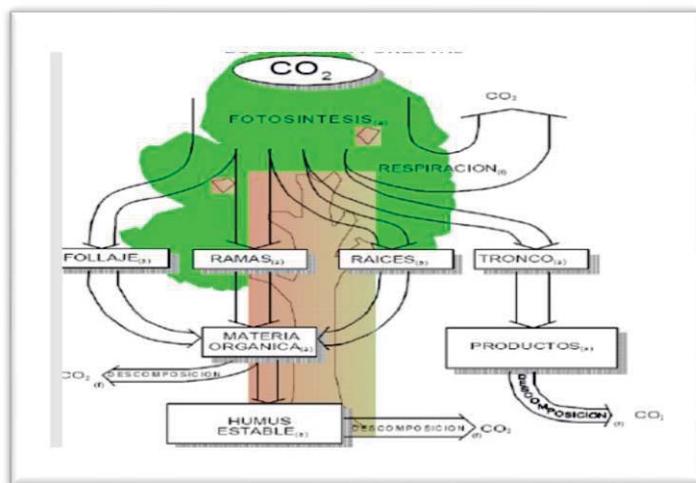


Figura 12: Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.

*Fuente: México, Sergio Alvarez Gallego 2009*

### 3.4.2 El papel de las áreas boscosas

A través de la fotosíntesis, los árboles en crecimiento despiden oxígeno y consumen agua, luz y  $\text{CO}_2$ . Por ello, los bosques en expansión son calificados de “sumideros de carbono”: absorben gas carbónico. Cuando dejan de crecer, los árboles ya no son sumideros, sino receptáculos de carbono: almacenan enormes cantidades de este elemento, en la superficie y en los suelos, pero cumplen un papel neutro en el balance final de  $\text{CO}_2$ . Por último, cuando se queman, los bosques despiden gas carbónico y se convierten así en fuentes de carbono. El gas carbónico que se desprende cuando los árboles viejos se descomponen se compensa con el que absorben los jóvenes que crecen en su lugar (BOUKHARI, 2000).

Las plantaciones forestales, ya sean para la producción de madera industrial, producción de leña, protección de áreas seleccionadas, recuperación de tierras degradadas, o el fortalecimiento de prácticas agroforestales, contribuyen a contrarrestar el efecto invernadero, sirven como mecanismos de captación de  $\text{CO}_2$  almacenando carbono tanto en su biomasa aérea como en la subterránea, descrito en la figura a

continuación y alivian la presión sobre los bosques naturales, preservándolos como depósitos de carbono (Centeno, 1992).

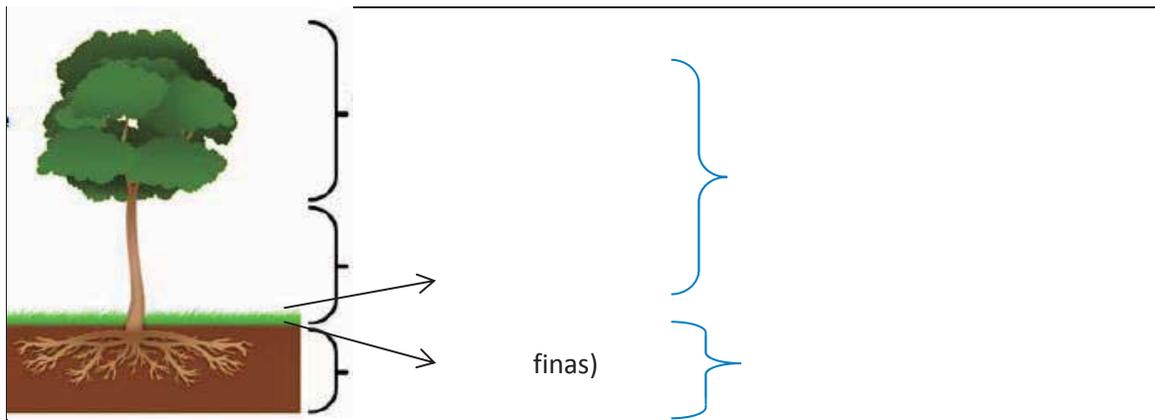


Figura 13: Reservorios de Carbono almacenado en la biomasa forestal

*Fuente: propia.*

El IPCC (2001 b) afirma que los bosques resulta un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, que podrían reducir de 20 a 50% de las emisiones netas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. La formación de 1 kg, de madera seca sustrae aproximadamente 1.64 kg de CO<sub>2</sub> atmosférico. (Carazo, 2006), esto debido a que 1kg de materia seca, multiplicado por los factores: fracción promedio de contenido de carbono: 0.45 y la equivalencia molecular de C a CO<sub>2</sub>: 3.66, da como resultado 1.64 kg de CO<sub>2</sub>. Además, en el caso de un bosque o una plantación conocida el volumen de cada componente de los árboles de muestra es posible determinar con más exactitud el peso seco de estos y su posterior conversión a carbono. El contenido de carbono a nivel especie puede variar desde 40.27% hasta 46.29% e incluso más de 50% (Gayoso *et al.*, 2002). Este factor de conversión (50%) también ha sido sugerido por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático para estudios de captura de carbono (IPCC, 2006).

Para brindar un ejemplo didáctico, en una plantación de Pinos de 10 años:

La plantación luego de realizar las mediciones de diámetro y altura tiene 160 m<sup>3</sup>/ha de madera (solo en los fustes), y que la densidad de la madera es de 0.5 (g/cm<sup>3</sup>).

- ✓ Por lo tanto tenemos: 80 t/ha de madera.
- ✓ De acuerdo a datos del IPCC, Aprox. el 50% es C, por lo tanto  $80 \times 0.5 \approx 40$  tC/ha.
- ✓  $1 \text{ tC} = 3.66 \text{ tCO}_2$ , entonces  $40 \times 3.66 \approx 150 \text{ tCO}_2/\text{ha}$  se encuentra en los fustes

Ahora, si se realiza un estudio detallado de la biomasa viva y muerta presente en todos los componentes de la plantación se puede encontrar una mayor cantidad de carbono Almacenado:

- ✓ Ramas  $\approx 15$  a  $30 \text{ tCO}_2/\text{ha}$ .
- ✓ Hojas  $\approx 1$  a  $2 \text{ tCO}_2/\text{ha}$ .
- ✓ Raíces  $\approx 20$  a  $30 \text{ tCO}_2/\text{ha}$ .

- ✓ Suelos  $\approx$  20 a 80 tCO<sub>2</sub>/ha.
- ✓ Madera seca y hojarasca < 10 t-CO<sub>2</sub>/ha.
- ✓ Vegetación menor < 10 t-CO<sub>2</sub>/ha.
- ✓ Total aproximado: 200 – 350 t-CO<sub>2</sub>/ha de biomasa total

El nivel de estudio completo depende de la finalidad de la plantación y la metodología o estándar a seguir. Muchos estándares se limitan a la biomasa en crecimiento, otros incluyen la biomasa total: viva y muerta, otros incluyen el suelo. Otros estándares tienen un nivel intermedio entre las dos opciones. Nuevamente, El carbono “almacenado” es la cantidad total de Carbono contenido por la biomasa, mientras que el carbono “capturado” o “secuestrado” es una medida del flujo dinámico del crecimiento anual de la biomasa. (Dávalos *et al.*, 2008).

El Perú cuenta con 10.5 millones de hectáreas de tierras aptas para la instalación de plantaciones forestales; de las cuales 7.5 millones se ubican en la sierra, 2.5 millones en la selva y 0.5 millones en la costa. (Plan Nacional de Reforestación, 2005; Gómez, 2003).

### **3.4.3 Proyectos forestales en el mercado regulado y mercado voluntario:**

Valorar económicamente los servicios ambientales significa obtener una medición monetaria de los cambios en el bienestar que una persona o grupos de personas experimenta a causa de una mejora o daño de esos servicios ambientales. Asociar una determinada cifra monetaria al valor económico de un servicio ambiental no pretende representar un precio, sino un indicador monetario del valor que tiene para un individuo o conjunto de individuos el servicio en cuestión (Romero, 1997).

Según la FAO (2007), los proyectos forestales que se consideran para mitigar las concentraciones de GEI en la atmósfera se agrupan en tres tipos:

- *Proyectos de conservación de Bosques como sumideros de carbono:* Están orientados al control de las tasas de deforestación, hecho que se logra mediante la protección de bosques, manejo forestal mejorado y mediante el control de alteraciones, tales como incendios forestales. (ej. REDD, REDD+)
- *Proyectos de captura de carbono:* Este es el caso de las plantaciones, que generan adicionalidad al incrementar la superficie cubierta por bosques y la biomasa mediante forestación, reforestación, agroforestería, forestación urbana, enriquecimiento y extensión de rotaciones. También se contempla el enriquecimiento de bosques naturales y el manejo de productos, que permitan obtener una adicionalidad de carbono (ej. Reforestación).
- *Proyectos de sustitución de carbono:* Éstos se relacionan con la energía, por ejemplo, a través de plantaciones específicas para bioenergía que permitiese el reemplazo de combustibles

fósiles, o a través de un mayor empleo de la madera que pudiese reemplazar el uso de otros materiales que consumen más energía en su elaboración (EJ. Briquetas de madera en sustitución del carbon).

#### **3.4.4 Estimación de biomasa**

Las plantas verdes deben fotosintetizar para obtener los elementos nutritivos existentes en el medio, utilizando la energía solar. El resultado de la fotosíntesis es la producción primaria, la que es incorporada a los tejidos. Este proceso se manifiesta a través del crecimiento y se expresa como peso seco o biomasa (Sato, 1982 citado por Duncan, 2005). La biomasa de una plantación presenta muchas variaciones según la especie y edad, como también de la densidad, el sitio y el tratamiento silvicultural (Garcinuño, 1995 citado por Duncan, 2005). La biomasa total de rodales de una misma especie bajo similares condiciones de crecimiento, es función directa de la edad del rodal. Asimismo, la producción de materia seca tenderá a aumentar con la densidad del rodal y la calidad del sitio (Sato, 1982 citado por Duncan, 2005). Por otra parte la biomasa por unidad de área será máxima, al momento de alcanzar (el rodal) el fin de la etapa de establecimiento y el comienzo del autoraleo (Ferrando *et al.*, 2001 citado por Duncan, 2005).

Debido a esta potencial variabilidad de biomasa, de acuerdo a Segura y Kanninen (2002), para estimar la biomasa sobre el suelo se pueden emplear dos métodos: 1) los métodos directos o destructivos, y 2) los métodos indirectos, que generalmente se aplican cuando los árboles son de grandes dimensiones (Parresol, 1999). En ambos casos, los valores obtenidos se extrapolan a una hectárea.

Los métodos destructivos incluyen mediciones en campo, cosecha y toma de muestras de la totalidad de la vegetación, teniendo en cuenta algunos criterios de evaluación. Aunque este método es más costoso y requiere de mayor tiempo, arroja resultados de alta confiabilidad, en comparación con el segundo método. Entre los métodos indirectos para estimar biomasa, se encuentra el uso de modelos de biomasa específicos para cada especie, donde los valores de inventarios forestales como diámetro (DAP y DAC) y altura, se transforman a términos de biomasa con la ayuda de modelos generales (Segura Y Kanninen, 2002).

Para obtener la biomasa aérea de una población establecida en una condición de sitio específica, carente de una base de datos, se debe utilizar un *método directo*, seleccionando y extrayendo árboles que representen a la población en estudio, los cuales son considerados de muestras de campo, generalmente un número igual o mayor a 30 árboles que luego son secados y pesados.

Una vez obtenida la base de datos de pesos húmedos y secos de las muestras, se ajustan modelos matemáticos (ecuaciones alométricas) al comportamiento de la población, para lo cual se utilizan

variables de fácil medición, tales como DAP (diámetro a 1.3 m de altura), DAC (diámetro altura cuello de la base; se recomienda utilizar DAC en reemplazo de DAP para especies que naturalmente se ramifican desde el cuello o especies de árboles con alturas menores a 2 m o que tienen un manejo de poda constante (ICRAF, Rognitz et al., 2009), DMC (diámetro medio cuadrático), altura total, altura de comienzo de copa y área basal (Garcinuño, 1995 citado por Duncan, 2005). De acuerdo a (Sato 1982), aumentar el número de parcelas y el tamaño de la parcela a comparación de los tamaños y números “usuales” de parcela, ayudara a reducir la variabilidad de parcela a parcela, por ende reducirá la variabilidad de las muestras (árboles) en términos de diámetro, altura y pesos obtenidos en las mediciones. Al momento de seleccionar los arboles a extraer se debe tener en cuenta que los arboles deben tener una característica “típica” el cual se refiere a que los individuos deben tener la forma, sanidad del fuste y volumen de copa de la población muestreada (Segura, 2008) y deben estar en relación a las frecuencias de las clases diamétrica encontradas.

Cuando se ya dispone de una ecuación alométrica (explicado en el próximo capítulo) para las especies en estudio se puede estimar la biomasa con métodos indirectos. Es un método no destructivo que consiste en utilizar ecuaciones y relacionarlas con diferentes dimensiones de un objeto (por ejemplo una planta, órgano vegetal o plantación). Estas ecuaciones permiten determinar la producción de biomasa. Este método se ha aplicado en particular en el área forestal en estudios para estimar la fijación biológica de C a nivel global (Ares *et al.*, 2002).

De acuerdo a la metodología “Aforestación y Reforestación en áreas degradadas” A/R AM0003 V04 (UNFCCC), menciona que los reservorios a cuantificar obligatoriamente son: biomasa arbórea aérea y biomasa arbórea debajo del suelo (Raíces), y de manera opcional dependiendo de la línea base del proyecto, las reservas: arbustos y pastos, hojarasca y suelo orgánico.

Dentro de los estudios de biomasa, la medición de raíces representa un trabajo más amplio y tedioso con niveles bajos de precisión (Macdiken, 1997). Por esta razón, algunos autores recomiendan utilizar valores reportados en literatura para bosques tropicales, donde el porcentaje de biomasa radical puede encontrarse en un rango entre 11 y 54%, aportando en promedio 18% de la biomasa total (Sierra, del valle, 2003). El IPCC brinda un factor de 1.1 como ratio a multiplicar con la biomasa aérea con la finalidad de estimar biomasa de raíces y simplificar su cálculo para proyectos de captura de carbono (IPCC, 2007).

### 3.4.5 Proceso estadístico para la elaboración de una ecuación alométrica de biomasa

Para la selección del modelo o ecuación alométrica es importante considerar elementos de decisión de estadística tales como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), Cuadrado Medio del Error (CME), significancia de los parámetros evaluados (las pruebas de hipótesis para las variables regresoras se realizaron con un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$ ). En los modelos alométricos que contienen varias variables regresoras es importante considerar también medidas como el  $R^2$  ajustado y la prueba de F (análisis de la varianza) (Rügnitz, 2009). Por otra parte también se utiliza el Índice de Furnival (IF) que sirve para comparar modelos con y sin transformación de variables, como por ejemplo logarítmicos. El IF en modelos sin transformar es igual al error estándar de la estimación o RCME. Entre más pequeño es el IF el modelo tiene mejor ajuste (Furnival 1961).

Antes de elaborar una ecuación se debe tener los datos digitalizados de las muestras (árboles): DAC, Altura Total (Ht), altura fuste (Hf) entre otras variables y sus derivados ( $DAC^2$ ,  $HT^2$ , etc.), además del dato de biomasa Seca del árbol (calculada anteriormente en el proceso de extracción, secado y pesado de muestras), a partir de estos datos se generarán ecuaciones de regresión lineal (simple o múltiple), siendo la Biomasa Seca total la variable dependiente y las otras variables independientes.

#### 1. Selección de Modelos:

Se selecciona un número de modelos o ecuaciones alométricas que dentro de sus variables consideren los datos tomados en campo en la plantación (DAP, Ht, etc).

#### Modelo Estadístico

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde:

Y = variable dependiente

X = variables independientes

$\beta_0$  = coeficiente de intersección paramétrico (constante)

$\beta_1$  = coeficiente de regresión paramétrico

$\epsilon_i$  = error o residual

#### Ecuación de Regresión:

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1 x, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Los valores estimados de los parámetros  $b_0$  y  $b_1$ , son determinados por defecto por el programa estadístico SPSS v.19.

## 2. Análisis de los Modelos o ecuaciones:

Se realizarán diferentes pruebas estadísticas a las ecuaciones seleccionadas, en una serie de pasos explicados a continuación

- I. Se tomará en cuenta el **Coefficiente de Determinación ( $R^2$ )**, el valor permitido está determinado de la siguiente manera:

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

- ✓  $R^2$  es la cantidad de variación de la variable dependiente que se da por las variables independientes. Cuanto más próximo de uno (1) es el valor de  $R^2$ , mejor fue realizado el ajuste (Machado 2002).
  - ✓ Mientras más cercano a 1, la variabilidad de los datos estará explicada por el modelo (Ecuación).
  - ✓ Si se utiliza más de una variable en el modelo, el  $R^2$  tiende a ser más alto por consiguiente usar el Coeficiente de Determinación Ajustado ( $R^2_a$ ) que siempre será menor al  $R^2$ ; el cual no se ve afectado por la adición de más variables independientes.
  - ✓ No se debe depender de solo este estadígrafo para probar que la ecuación es útil, por eso se realizan más pruebas.
- II. Se realizará el **Análisis de Varianza (ANVA)** con el programa SPSS v.19, que consiste en la descomposición de la variación total o suma de cuadrados total en sus fuentes de variación (suma de cuadrados de regresión (SCR), la suma de cuadrados del error (SCE), el cuadrado medio de la regresión (CMR) y cuadrado medio del error (CME) (detallado en siguiente punto) expresadas en un cuadro resumen que da el programa; así mismo nos da información sobre la prueba F de Fisher con los cuales nos permitirán discernir entre varios modelos, el mejor predictor.
  - ✓ Se realizará la Prueba F o de Fisher, para probar la falta de ajuste al modelo. Se tiene la siguiente hipótesis nula ( $\beta_1=0$ ) y se debe aceptar o rechazar:

$H_0: \beta_1=0$  (No hay relación lineal entre X e Y)

$H_a: \beta_1 \neq 0$  (Si hay relación lineal entre X e Y)

Para comprobar la hipótesis se emplea la siguiente fórmula:

$$F_c = \text{CMR}/\text{CME} \sim F(1, n-2)$$

Dónde:

$F_c = F$  calculado

CMR = cuadrado medio de la regresión

CME = cuadrado medio del error

La  $F_t$  (F tabular) se obtiene directamente de la tabla Fisher para un nivel de significancia ( $\sigma$ ) igual a 0.05.

- Si:

$F_c > F_t$ , se rechaza la  $H_0$  (nula)

$F_c \leq F_t$ , no se rechaza la  $H_0$  (nula)

III. **Prueba “t” de Student**, para probar que X aporta información suficiente para predecir Y.

Se tiene la siguiente hipótesis:

$H_0: \beta_1 = 0 = \beta_{10}$ . Donde  $\beta_{10}$  es el valor estimado para  $\beta_1$

$H_a: \beta_1 \neq 0$

✓ Para comprobar la hipótesis se emplea la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{(b_1 - \beta_{10}) \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{\text{RCME}} \sim t(n-1, 1-\sigma/2)$$

Dónde:

$t_c = t$  calculado

$b_1 =$  valor estimado del parámetro  $\beta_{10}$

$\beta_{10} = 0$

$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 =$  suma de cuadrados de X

RCME = Raíz del cuadrado medio del error o error estándar de estimación

- ✓ La  $t_t$  (t tabular) se obtiene directamente de la tabla student para un nivel de significancia ( $\sigma$ ) igual a 0.05 y de dos colas con grados de libertad (n-2)

Si:

$$t_c > t_t \text{ se rechaza la } H_0$$

$$t_c \leq t_t \text{ no se rechaza la } H_0$$

- IV. **Cuadrado medio del error (CME) y Error Estándar de la Estimación o Raíz del cuadrado medio del error (RCME)**, se busca que sea el menor valor posible, para que el ajuste al modelo sea el mayor.

$$RCME = \sqrt{SCR / (n - p)}$$

Dónde:

SCR = suma del cuadrado de los residuos

n = número de observaciones

p = número de parámetros del modelo lineal (incluye el  $B_0$ )

- ✓ Este estadígrafo no permite las comparaciones entre modelos lineales con variables transformadas y sin transformar, en estos casos se debe usar el estadígrafo (IF: índice de Furnival).

- V. **Índice de Furnival (IF)**, permite comparar modelos lineales con aquellos donde la variable dependiente es transformada, ejemplo Log (BT), LN (BT)<sup>2</sup>, etc. Para los modelos donde la variable dependiente no se transforma el IF es igual al RCME y cuanto más pequeño es el IF mejor es el ajuste al modelo.

$$IF = RCME \times \text{anti log} \left( \frac{\sum (\log (B')^{-1})}{n} \right) \quad \text{ó} \quad I = [f' (\log V)]^{-1} S$$

Dónde:

RCME = raíz cuadrada del cuadrado medio del error

$(B')^{-1}$  = recíproco de la primera derivada de la variable

## Dependiente (transformada)

### 3. Análisis de los Modelos o ecuaciones:

A partir de las pruebas estadísticas realizadas, se selecciona un primer grupo de ecuaciones que tiene un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) aceptable (valor fijado por el investigador) y que tengan un “F” calculado mayor al “F” tabular y que tenga un “t” calculado mayor al “t” tabular.

Con el grupo de ecuaciones restantes y se analiza el Cuadrado medio del error (CME) donde se busca que sea el menor valor posible, para que el ajuste al modelo sea el mayor. Y con las restantes se separan dos grupos: ecuaciones logarítmicas y no logarítmicas y se aplica la prueba “IF: Índice de Furnival” para determinar la mejor ecuación, la cual tiene un IF más cercano a cero.

Una vez seleccionado el mejor modelo y obtenida la ecuación de ajuste, se realizara un análisis gráfico de los residuales para detectar la presencia de normalidad en los errores y homogeneidad en las varianzas. En base a esto también se podrían eliminar valores atípicos (*Outliers, no más del 5% del total*) que podrían causar mayores rangos de error en el modelo, teniendo en cuenta los valores cuyos residuales estandarizados superan tres desviaciones estándar o utilizar la función Cook’s Distance (CD) del programa SPSS v.19, donde  $CD > 1$  es considerado outliers.

#### **3.4.6 Estudios previos realizados**

Russo (1983), citado por Cuartas (1993), mostró que 30 árboles distribuidos en un rango diamétrico fueron suficientes para construir una tabla de pesos. En un bosque inundable de la amazonia, por otro lado, Cuartas (1993) utilizó una muestra de 155 individuos (132 árboles y 23 palmeras) para construir curvas de biomasa aérea. Según Young (1979), citados por, Lopera y Gutiérrez (2000), para obtener datos de biomasa que proporcionen una buena regresión lineal se requiere una muestra con un número mínimo de 30 individuos por especie.

Saldarriaga (1994), citados por, Lopera y Gutiérrez (2000) tomó como muestras 126 árboles, los cuales los seleccionaron de manera que todas las clases propuestas, estuvieran representadas. Por otra parte, el número de árboles necesarios para la estimación de la biomasa aérea forestal, disminuye a medida que aumenta el grado de homogenización alcanzando por la vegetación (Caicedo y Niño, 1988, citados por, Lopera y Gutiérrez 2000), por lo cual en plantaciones monoespecificas se requerirán menos árboles que en bosques naturales para construir curvas de biomasa.

Schlegel et al., (2000). Menciona que en estudios de biomasa dependiendo de la variabilidad de los bosques la precisión deseada, las especies encontradas y los recursos disponibles, se utilizarán diferentes números de árboles muestra, normalmente varía entre 20 y 40 árboles, eligiéndose alrededor de 5 por parcela medida.

Por otro lado Brown y Lugo (1984) demostraron que las determinaciones directas de biomasa hechas en algunos estudios ecológicos, con pocas parcelas, usualmente producen altos estimativos de biomasa por unidad. Otro problema al usar datos de distribución al azar, es el sesgo que se produce cuando se escogen árboles de grandes diámetros; al respecto los mismos autores afirman que las tendencias ecologistas ajustan la colocación de las parcelas de estudio de tal forma que incluyen grandes árboles, sobreestimando la biomasa del bosque, pues la biomasa por árbol incrementa geométricamente con el incremento del diámetro.

En Perú, Gamarra (2001), para estimar la biomasa aérea en plantaciones de *Eucalyptus globulus labill* realizó un levantamiento total de sitios cuadrados concéntricos de 625m<sup>2</sup>, con una intensidad de muestreo de 2%. Lapeyre (2003), en su estudio de determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, determino el número de muestras de cada uno de los sistemas con un coeficiente de variación del 30% para sistemas boscosos y 20% para sistemas agrícolas y el 20% de error de muestra, con parcelas rectangulares de 100m<sup>2</sup> (4m x 25m) para árboles comprendidos en diámetros de 2.5 y 30cm. DAP y de 500m<sup>2</sup> (5m x 100m) para árboles mayores a 30cm DAP. Mientras Capto (2004), para la determinación de la ecuación alométrica de *Pinus patula* y estimación del contenido de carbono en su biomasa arbórea en Porcón, Cajamarca, Perú estableció 31 parcelas para árboles de 17 a 19 años de edad. Del cual utilizo un árbol por parcela para los ensayos destructivos de biomasa.

Gorbitz (2010), evaluó el potencial de *Calycophyllum spruceanum* b. (Capiróna) para capturar carbono en plantaciones en dos zonas de la cuenca del río Aguaytía, Provincia de Coronel Portillo, Departamento de Ucayali, Perú. La recolección de información se llevó a cabo en las plantaciones donde el Centro Mundial para la Agroforestería “ICRAF” realiza ensayos de progenie. La metodología consistió en elaborar una ecuación alométrica mediante muestreo destructivo de 30 individuos de *Calycophyllum spruceanum* b. La ecuación alométrica que mejor se ajustó para la determinación de la biomasa seca total fue un modelo exponencial en función de la variable DAP.

Samaniego (2009), evaluó la cantidad de carbono de la biomasa aérea de los árboles de *Guazuma crinita* (Bolaina) plantados por ICRAF el 2001 en Ucayali. Se estimó la biomasa aérea de los componentes de cada árbol de la muestra, evaluándose en total 30 árboles, la variable DAP fue predominante en la ecuación encontrada.

### 3.4.7 Fracción de carbono

Existen varios métodos para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado por la vegetación; sin embargo, en numerosos estudios (Ramírez et al., 1997; Ortiz, 1997; Brown *et al.*, 1986; Hoen y Solberg, 1994; Schroeder *et al.*, 1995) ha empleado uno simple para evaluar este proceso, en el cual los datos existentes de biomasa por hectárea (B) son multiplicados por un factor de carbono (FC), obteniéndose la cantidad de Carbono (C) de la biomasa existente.

Luego para obtener la molécula de CO<sub>2</sub> a partir de C, se usa la relación entre el peso de la molécula de CO<sub>2</sub> (44) y el peso del átomo de C (12), para lo cual se multiplica por 44/12 ó 3.66, tal como se muestra a continuación:

$$C = B \times FC$$

$$CO_2 = C \times (44/12 \text{ ó } 3.666)$$

Otro método utilizado es el del poder calórico por el método basado en la cantidad de energía que requiere una planta para fijar un mol de carbono, método de Eduarte y Segura (1998), utilizado por Cubero y Rojas (1999) y por el IIAP Iquitos (2006). El método para determinar la fracción de carbono en la biomasa está basado en los siguientes principios:

- Ley universal de la termodinámica, la cual afirma que cualquier proceso o trabajo que implique un cambio en los niveles de energía en la naturaleza, sucede y la energía del universo se mantiene igual (Brown y Le May, 1987; citado por Segura, 1997).
- Ley de Hess, establece que una reacción se lleva a cabo en una serie de etapas, el cambio calórico ( $\Delta H$ ) para la reacción es igual a la sumatoria de todos los cambios de entalpía para cada etapa en particular. Es útil para calcular los cambios de energía que son difíciles de medir en forma directa (Brown y Le May, 1987; citado por Segura, 1997).

Con la utilización de un calorímetro de Parr y siguiendo los procedimientos de la A.S.T.M (1973), para combustibles sólidos se puede obtener de cada muestra, la cantidad de energía total en kcal/kg, transformándose a moles de carbono potencial fijado utilizando la relación de moles (g/peso molecular) y con el peso de la muestra inicial se determina la fracción de carbono fijado.

La elección del método a para la determinación de la fracción de carbono dependerá del tiempo y presupuesto de los investigadores involucrados.

Por otro lado, el Panel Intergubernamental De Cambio Climático - IPCC (2003) brinda valores “default” de la fracción de carbono para convertir biomasa a carbono, que parten de un cuadro (4.3 de la guía IPCC

2003) donde se tiene valores por defecto para el tipo de ecosistema, en el caso de Perú siendo un ecosistema Tropical y sub-tropical el valor es 0.49<sup>3</sup>. Este valor default es utilizado en los inventarios nacionales de GEI (gases de efecto invernadero) y en las metodologías de proyectos de reforestación y conservación de bosques para servicios ambientales.

Se realizó una recopilación de investigaciones previas sobre fracción de carbono para tener un mayor panorama de la importancia de esta fracción y sus posibles variaciones de acuerdo a la especie.

**Estudios realizados:** Segura (1999) encontró en sus investigaciones valores promedios de 0.46% de carbono en la biomasa seca. Además García (2002), luego de un estudio halló también una fracción de carbono de 0.43 para 12 especies provenientes de un bosque tropical sub húmedo de Santa Cruz, Bolivia. (Ruiz García, 2002).

Según Barres (1993), citado por Ramírez *et al.*, (1997), el contenido de carbono de la madera de las especies de hoja ancha varía entre 47% y 50%. Además, Ramírez *et al.* (1997) en un estudio sobre valoración de la contribución de las plantaciones forestales a cuentas nacionales de Costa Rica, asumieron un contenido de carbono promedio del 50% para las 5 especies principales plantadas en este país, entre la que se encuentra *Gmelina arborea*, *Tectonagrandis* y *Eucalyptus deglupta*. También Ortiz (1997), utilizó un contenido de carbono del 45% para su trabajo en bosques secundarios de Costa Rica.

En su estudio sobre las implicaciones de las plantaciones tropicales como sumideros de carbono, Brown *et al.* (1986) asumieron que 1 gramo de biomasa = 0.5 g de C, es decir, un contenido de carbono del 50%. Otro científico, Goudriaan (1992), sostiene que el contenido de materia vegetal seca varía entre un 45 – 50% dependiendo de la especie, y afirma que esta variación es de hecho mucho menor que la de otros elementos minerales como N, P y K, cuyos niveles pueden variar en un factor de cinco según la especie y la fertilidad del suelo.

En el Perú, Lapeyre (2003) utilizó un factor de conversión de biomasa a masa de carbono de 0.45 para diferentes sistemas forestales; mientras que Capto, (2004) utilizó un factor de Conversión de 0.5 en la determinación de la ecuación alométrica para el *Pinus patula* para la zona de Porcón, por otro lado, Gamarra (2001), para estimar la biomasa aérea en plantaciones de *Eucalyptus globulus* labill utilizó un factor de 0.5

Samaniego (2009) determinó esta fracción mediante una evaluación del valor calorífico de las sub muestras secadas en el Laboratorio de Química y la Madera de la FCF-UNALM, y con el dato de Contenido de humedad de las mismas se halló el Poder Calorífico Superior, con los cuales se obtienen las

---

<sup>3</sup> [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_04\\_Ch4\\_Forest\\_Land.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf)

fracciones de carbono de los componentes (hojas, ramas, fuste) con un rango de 0.451 a 0.488 para una especie proveniente de bosque húmedo (Samaniego, 2009).

Asimismo, IIAP, (2006), en su investigación servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la reserva nacional Pacaya Samiria, Loreto- Perú. Determinó la fracción de carbono en palmeras de *Mauritia flexuosa l.f.* y *Mauritiellaaculeata*, con el mismo método de calorimetría de Eduarte y Segura, (1998) obteniendo resultados diferentes estípites, hojas y raíces como se muestra los resultados en cuadro.

Cuadro 1: Fracción de carbono en *Mauritia flexuosa l.f.*, *Mauritiellaaculeata* por componente.

Especie.	Estípites	Hojas	Raíz	Total
<i>Mauritia flexuosa l.f.</i>	0,481 41	0,494 42	0,490 98	0,486 33
<i>Mauritiellaaculeata</i>	0,480 40	0,528 90	0,485 30	0,488 50

Fuente: IIAP, (2006)

Si bien el método de fracción de carbono (FC) basado en la calorimetría es más costoso y requiere de mayor tiempo, arroja resultados de alta confiabilidad; Sin embargo las diferencias encontradas en diferentes estudios realizados con ambas metodologías no se manifiesta una gran brecha en los resultados de FC, por lo tanto siguiendo la metodología AC ARM0003 del CDM que permite el uso de un factor (0.5) del IPCC, además debido al presupuesto limitado necesario para realizar las evaluaciones, se seleccionó el método de fracción de carbono preestablecida por el IPCC.

### 3.5 DESCRIPCION GENERAL DE LA ESPECIE

#### 3.5.1 Aspectos Taxonómicos

Cuadro 2: Clasificación Taxonómica *Inga Edulis*

<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Orden:</b>	Fabales
<b>Familia:</b>	Fabaceae
<b>Subfamilia:</b>	Mimosoideae

<b>Tribu:</b>	Ingeae
<b>Género:</b>	Inga
<b>Especie:</b>	<i>Inga edulis</i>

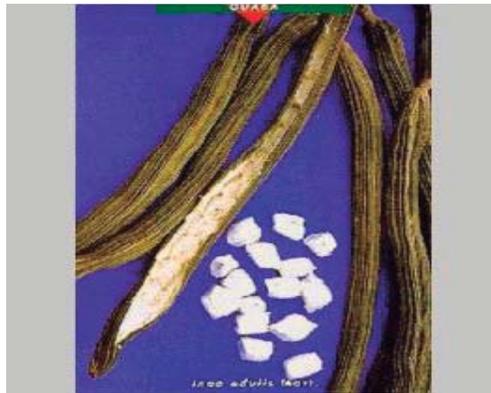
Fuente: *Frutas amazónicas: Guaba*

### 3.5.2 Descripción Botánica

Es un árbol pequeño de 6-18m. de altura; fuste cilíndrico de 15-50cm. de DAP, muy ramificado, casi desde el segundo tercio, corteza externa lisa o lenticelada de color pardo grisáceo o marrón claro, con lenticelas circulares o alargadas dispuestas en hileras horizontales y abundantes hacia la zona basal del fuste. Hojas compuestas, alternas, paripinnadas y dispuestas en espiral, el peciolo de 3 – 6cm de longitud, raquis alado pardo, las alas de 1-2cm, el raquis con glándulas elípticas de 2-3mm de ancho situados en la zona de inserción de los folíolos. Folíolos subsésiles, opuestos de 4-6 pares, de 15-18cm de longitud y 5-8cm de ancho, enteros, los nervios secundarios 15-18 pares, prominulos en ambas caras, el ápice de los folíolos agudo, la base aguda, las hojas con pubescencia densa y corta de pelos amarillentos en el envés y los nervios secundarios (Reynel, 2003).

Los folíolos terminales de mayor tamaño que los basales, márgenes enteros o ligeramente ondulados, haz verde oscuro con nerviación densamente pubescente, envés verde claro con nerviación prominente muy pubescente; peciolo pardo-tomentoso.<sup>4</sup> Inflorescencias en espigas axilares agrupadas cerca del ápice de las ramitas de hojas no desarrolladas, cada inflorescencia de 2-10 cm. Flores hermafroditas, de 2.5-5 cm de longitud, sésiles, actinomorfas, con cáliz y corola tubular amarillenta, de 1.5-2.5 cm de longitud, con 5 dientes, el androceo 4-5 cm de longitud, los estambres muy numerosos y fusionados inmediatamente encima del nivel de la corola, el gineceo con un pistilo de ovario súpero y estilo linear, el estigma inconspicuo (Reynel, 2003).

El fruto es una vaina cilíndrica indehiscente, con surcos longitudinales múltiples, de 40-120 cm. de largo y 3,5-3,7 cm. de diámetro, verde oscuro pardo-tomentoso. Semillas en número de 10-20 por fruto, oblongas, negro a negro violáceo y cubiertas por un arilo blanco, algodonoso y dulce.



<sup>4</sup> Página web: [http://www.radiomaranon.org.pe/redmaranon/archivos/frutas\\_amazonicas\\_guaba.pdf](http://www.radiomaranon.org.pe/redmaranon/archivos/frutas_amazonicas_guaba.pdf)

Figura 14: Fruto de *Inga Edulis*

### 3.5.3 Distribución y Hábitat

Planta que se encuentra silvestre en la Amazonia, América Central y las Indias Occidentales. Por la alta variabilidad existente y por el alto número de especies de *Inga* observados, probablemente tenga como centro de distribución la región amazónica.

La distribución geográfica de *Inga* está restringida a los trópicos y subtropicos americanos, con cierta penetración dentro de las áreas templadas tanto del norte como del sur. Las condiciones ambientales adaptativas son: biotemperatura media anual máxima de 25.1°C y biotemperatura media anual mínima de 17.2°C. Promedio máximo de precipitación total por año de 3419mm y promedio mínimo de 936mm. Altitud variable desde el nivel del mar hasta 2 000msnm.

La planta se adapta a todos los tipos de suelos existentes en la amazonia, desde los más fértiles entisoles, incepsisoles, histosoles y alfisoles, hasta los más ácidos e infértiles oxisoles, ultisoles e inclusive los espodosoles arenosos. Desarrolla bien en terrenos no inundables. Tolera hidromorfismo y período secos prolongados.<sup>5</sup>

### 3.5.4 Fenología, Polinización y Dispersión

Los picos de floración en el Perú han sido observados entre marzo-mayo y julio-septiembre. Fructifica durante todo el año aunque aparentemente con un pico de fructificación entre Diciembre-Enero.

Respecto a la polinización, las especies de *Inga* tienen un amplio rango de visitantes florales. Sin embargo, destacan entre los más probables polinizadores a los picaflores pequeños, polillas de la familia *Sphingidae* y *Hesperiidae* y mariposas de las familias *Pieridae* e *Ithomiidae* (Koptur, 1983, citado por Reynel 2003). La dispersión de semillas es efectuada por primates y animales arborícolas (Reynel, 2003).

### 3.5.5 Métodos de propagación

La propagación es por semilla, la cual tiene más de 90% de poder germinativo; germina cuando la fruta ha completado su desarrollo y aún dentro de la misma vaina. En vivero la semilla es germinada en camas de almácigo con diferentes sustratos, por ejemplo tierra orgánica más arena gruesa en la proporción 2: 1, a distanciamientos de 4 por 4cm ó 6 por 6cm, dependiendo del tamaño de la semilla. La germinación se inicia a los tres días (si es que aún no se ha iniciado al cosechar la fruta) y alcanza el máximo en trece días. Las plántulas alcanzan 28 cm en 20 semanas. Las semillas pierden viabilidad muy rápidamente y no toleran el secado, comportándose como semillas del grupo recalcitrante.

Las plantas se llevan a campo definitivo cuando tienen entre 40 y 60cm de altura. Para uso como sombra en plantaciones de café o cacao se utilizan distanciamientos entre 10 y 15m, mientras que para cultivos en

---

<sup>5</sup> Página web: [http://www.radiomaranon.org.pe/redmaranon/archivos/cultivo\\_guaba.pdf](http://www.radiomaranon.org.pe/redmaranon/archivos/cultivo_guaba.pdf)

callejones se utiliza 4 m entre hilera y 0.5 m entre plantas. No se tiene experiencia para establecer plantaciones para el cultivo puro de guaba, pero se espera que el distanciamiento esté entre 6 y 8m entre plantas y entre hileras. Las plantas alcanzan 2.0 a 4.5m de altura en 12 meses, dependiendo de la fertilidad del suelo. (Brako *et al*, 1993).

### **3.5.6 Usos**

Los frutos tienen semillas envueltas en un tejido algodonoso, comestible, muy dulce; son muy apreciadas localmente y por animales silvestres. La madera es corriente y poco durable; se emplea mayormente como leña.

La especie tiene alto potencial para la recuperación de suelos degradados; su crecimiento es muy rápido y aporta gran cantidad de hojarasca y materia orgánica. Es excelente para revegetar zonas en las que la cubierta vegetal ha sido devastada pues facilita el establecimiento posterior de árboles más exigente en calidad de suelo. La tasa de germinación de biomasa en esta especie es espectacular, y se registran promedios de casi 25 t/ha/año en este aspecto (Pennington, 1998 citado por Reynel, 2003).

Diferentes especies del género *Inga* son ampliamente utilizadas como tutores de cultivos agrícolas: granadilla (*Passiflora logularis*), Maracuyá (*Passiflora edulis*), Frijol (*Phaseolus lunatus*), etc. Son preferidas por los agricultores debido al rápido crecimiento tanto ramal como radicular y a las grandes cantidades de materia orgánica que producen y la sombra que dan para cultivos agroforestales (Arce, 1987).

El árbol de algunas especies de *Inga* se emplea como sombra para el café y el cacao, con la ventaja de mantener la humedad en la capa superficial del suelo. Algunas comunidades indígenas de la Amazonia, además de consumir la fruta como alimento, utilizan las semillas y hojas con fines medicinales: antidiarreico y antirreumático. Las semillas de especies seleccionadas son consumidas por ciertos grupos indígenas de Araracuara. En El Salvador se emplea la corteza de algunas especies para la producción de taninos. En el Vaupés, Colombia, los indígenas utilizan la goma de ciertas especies para fijar los colores destinados a pintar sombreros, canastas y otras artesanías (Brako *et al*, 1993).

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 ZONA DE ESTUDIO

#### 4.1.1 Ubicación Política y geográfica de la Propiedad

La zona de estudio será en la en la región Ucayali, Provincia de Coronel Portillo, distrito de Campo Verde

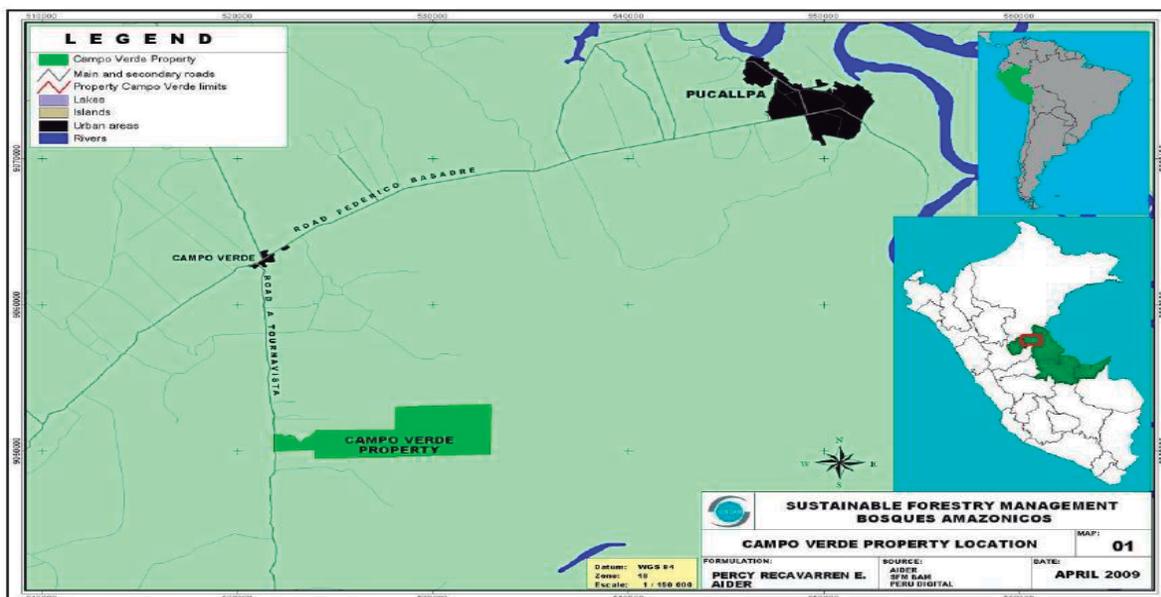


Figura 15: Mapa de ubicación de la zona de estudio – Proyecto Campo Verde

Fuente: VCS (Voluntary Carbon Standard) Project Description – Campo Verde, 2009

#### 4.1.2 Accesibilidad

El acceso a la propiedad de la empresa BOSQUES AMAZONICOS, es por vía carretera desde Pucallpa en dos tramos, una de 34 km por la Carretera Federico Basadre y desde allí a la margen izquierda por la Carretera a Tournavista en un tramo de 12km. El transito es realizado durante todo el año y en vehículo tipo camioneta el recorrido es en 45 minutos aproximadamente (Plan General de Establecimiento de Plantación Forestal, Bosques Amazónicos SAC, 2012).

#### 4.1.3 Clima

La zona de estudio presenta un clima tropical permanentemente húmedo, las precipitaciones están en el orden de 1861.68mm al año, el promedio anual de temperatura es de 26.7°C, con algunos máximos mensuales alrededor de 32 °C y con mínimos mensuales de 20°C; la humedad relativa tiene un promedio

anual de 83.71%, siendo la temporada más húmeda comprendida entre los meses de Febrero a Abril (Estación Meteorológica, Universidad Nacional de Ucayali - Almanaque de Ucayali 2002-2003).

#### **4.1.4 Ecología**

Dentro del ámbito del proyecto, como se ha indicado, dominando por un clima cálido muy húmedo, se reconocen tres (3) zonas de vida de acuerdo al sistema Holdridge: bosque húmedo Premontano Tropical (transicional a bh-T), bosque húmedo Tropical y bosque húmedo tropical (transicional a bh-PT). (Plan General de Establecimiento de Plantación Forestal, Bosques Amazónicos SAC, 2012).

#### **4.1.5 Fisiografía y suelos**

La zona de estudio se caracteriza por suaves ondulaciones de terrazas, con bajos gradientes de entre 0-4%. La altura oscila entre 155 a 220m sobre el nivel del mar. El área del proyecto contiene pequeñas colinas reliquia creada por la acción fluvial histórica. El relieve de las tierras significa que no se ven afectadas por las inundaciones durante la temporada de lluvias. Hay un drenaje bueno a moderado en toda la zona del proyecto. Los suelos de la zona del proyecto se clasifican utilizando el rango de la escala del pH, de extremadamente a fuertemente ácida (pH alrededor de 3.5). Los suelos presentan una densidad aparente media de  $1.13\text{g/cm}^3$  y un bajo contenido de materia orgánica, un promedio de 0.86% de carbono en los diez primeros centímetros. Toda el área del predio corresponde al tipo de suelo ultisol y la caracterización edafológica se ha basado en la fertilidad del suelo por unidad fisiográfica y descrita para cada unidad de vegetación actual. (Plan General de Establecimiento de Plantación Forestal, Bosques Amazónicos SAC, 2012).

#### **4.1.6 Capacidad de uso mayor de los suelos**

La capacidad de uso de un suelo puede definirse como su aptitud natural para producir en forma constante bajo tratamientos continuos y usos específicos. Se ha usado el sistema que se establece en el Reglamento de Clasificación de Tierras aprobado por Decreto Supremo N° 0062/75-AG (Setiembre 2009, siendo el Ministerio de Agricultura la entidad responsable) como la base para la calificación y agrupación de las diferentes clases de suelos del país dentro de un contexto global. El sistema de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor que establece dicho Reglamento es un ordenamiento sistemático, práctico o interpretativo, de gran base ecológica, que agrupa a los diferentes suelos con el fin de mostrar sus usos, problemas o limitaciones, necesidades y prácticas de manejo adecuadas. Esta clasificación proporciona un sistema comprensible, claro, de gran valor y utilidad en los planes de desarrollo agrícola y de acuerdo con las normas de conservación de suelos.

El área de estudio presento la siguiente clasificación de capacidad de uso mayor de la tierra:

#### ***Tierras Aptas para Cultivo en Limpio (A)***

Las tierras de esta clase reúnen las mejores características edáficas, topográficas y climáticas, que permiten la remoción periódica y continua del suelo para el sembrío de plantas herbáceas y semiarborescentes de corto período vegetativo.

#### ***Tierras aptas para Cultivo Permanente (C)***

Son aquellas tierras no adecuadas a la remoción continua del suelo, pero que permiten la implantación de cultivos perennes, herbáceas, arbustivas o arbóreas (frutales principalmente), bajo técnicas económicamente accesible a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva de suelo.

#### ***Tierras Aptas para Pastoreo (P)***

Estas tierras no reúnen condiciones edáficas, topográficas y ecológicas mínimas requeridas para cultivos intensivos o permanentes, pero sí para la actividad pecuaria.

#### ***Tierras de Protección (X)***

Están constituidas por aquellas que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivos, pastoreo, producción forestal. Se incluye dentro de este grupo: picos, nevados, pantanos, playas, cauces de ríos y otras tierras que aunque presentan vegetación natural boscosa, arbustivas o herbácea, su uso no es económico y deben ser manejados con fines de protección de cuencas hidrográficas, vida silvestre, valores escénicos, científicos, recreativos y otros que impliquen beneficio colectivo o de interés social. Aquí se incluyen los Parques Nacionales y Reservas de Biósfera.

#### ***Tierras aptas para Producción Forestal (F)***

No reúnen las condiciones ecológicas requeridas para su cultivo o pastoreo, pero permiten su uso para la producción de maderas y otros productos forestales, siempre que sean manejadas en forma técnica para no causar deterioro en la capacidad productiva del recurso sin alterar el régimen hidrológico de la cuenca. Estas tierras podrán dedicarse a protección cuando el interés social y económico del Estado lo requiera.

#### **4.1.7 Hidrografía**

En la zona del proyecto y su zona de influencia, se encuentran 6 quebradas clasificadas en segundo orden, estas albergan importantes especies de invertebrados acuáticos y peces.

Cuadro 3: Ríos y quebradas de la propiedad – Campo Verde

Nombre de los ambientes lóticos	Orden de acuerdo a su clasificación
Quebrada agua blanca	Segundo Orden
Quebrada Garzal	Segundo Orden
Quebrada Shiquihual	Segundo Orden
Quebrada Oriol	Segundo Orden
Quebrada Mojaral	Segundo Orden
Quebrada Maputay	Segundo Orden

Fuente: Project Description – Campo Verde, 2009.

Los ríos de la zona del proyecto son generados por el alto nivel de las lluvias y de aguas subterráneas. Los ríos son parte de la cuenca del Amazonas y se alimentan en el río Ucayali, uno de los afluentes más importantes del río Amazonas, el río más grande del mundo. Los ríos que cruzan el proyecto en varias áreas, lo que garantiza la disponibilidad permanente de agua en el área del proyecto.

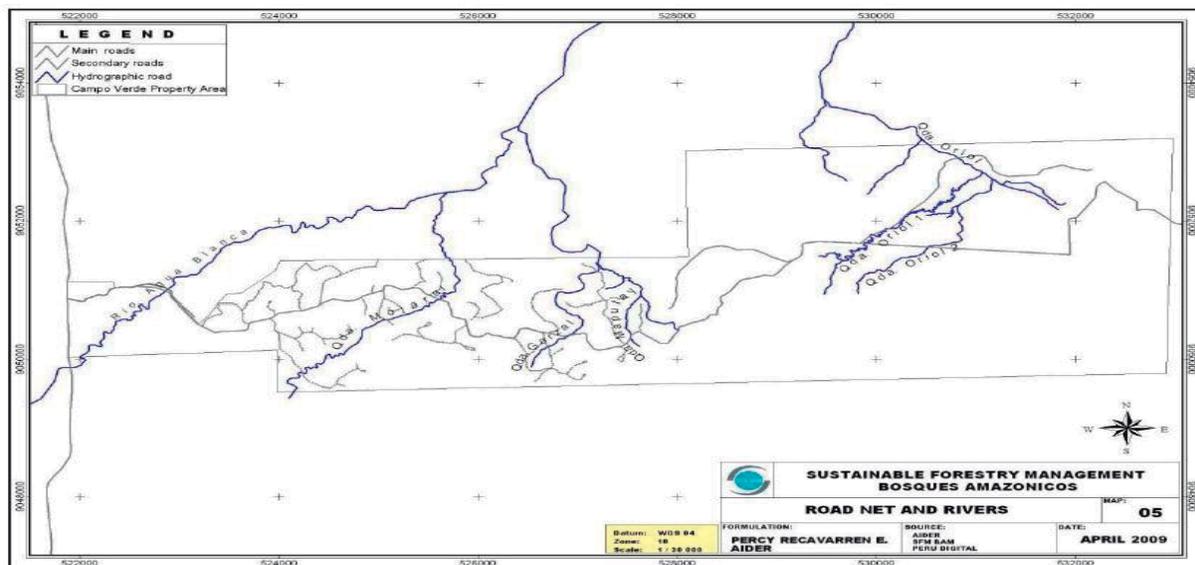


Figura 16: Mapa Hidrológico en el área de proyecto

Fuente: VCS (Voluntary Carbon Standard) Project Description – Campo Verde, 2009.

#### 4.1.8 Vegetación

En el área del proyecto, la vegetación dominante es la hierba invasora *braquiaria decumbes* y con algunos arbustos, árboles aislados o grupos de árboles. La zona que rodea el área del proyecto es una mezcla de bosque secundario y remanente de bosque primario. De acuerdo con la evaluación ecológica, la zona del proyecto contiene 18 especies de flora. *Braquiaria decumbes* es la especie dominante, que cubre 62% de la zona de pastos y con una altura media de 57cm (Cuadro 4). Esta especie también se asocia con grass de tallo duro (8.8% de cobertura) y grass Cashaucsha (*Imperata brasiliensis*) (7.8%). En conjunto, estas hierbas representan un total de más de 75% de la cubierta de la vegetación de la zona. Estas hierbas son invasivas y tienen una alta carga de ignición, dando lugar a incendios regulares que luego impiden la regeneración natural en las zonas de pastoreo.

Cuadro 4: Especies de cobertura y altura media de las áreas clasificadas como pastos

Species	Scientific name	Common name	Mean Value	
			Cover (%)	Mean Height (cm)
	<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf. Stapf.	Braquiaria decumbes	62.0	57
	<i>Alyra</i> sp.	Hard stem grass	8.8	83
	<i>Imperata brasiliensis</i>	Cashaucsha	7.8	85
	<i>Escleria</i> sp.	Cortadera	5.0	76
	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Yarahua	3.2	100
	<i>Urena</i> sp.	Yute	2.6	87
	<i>Axonopus compressus</i> , <i>Paspalum conjugatum</i>	Torourco	2.6	67
	<i>Tetraura</i> sp.	Paujil chaqui	1.4	150
		Shapumba	1.3	93
		Sogal	1.1	200
	<i>Brachiaria</i> sp. ( <i>humidicola</i> , <i>dictioneura</i> )	Braquiaria	0.7	70
		Pasto nudillo	0.6	120
	<i>Brachiaria brizantha</i>	Braquiaria	0.6	100
		Huaquilla	0.5	89
	<i>Cyperus</i> sp.	Piri piri	0.5	55
	<i>Andropogon bicronis</i>	Cola de zorro	0.4	108
	<i>Alyra</i> sp.	Gramalote	0.2	103
	<i>Chusquea</i> sp.	Carrizo	0.1	90
		No vegetation	0.7	0
		Total	100	81

Fuente: VCS (Voluntary Carbon Standard) Project Description – Campo Verde, 2009

Se presentan las principales unidades de vegetación con uso actual determinadas en el área del Proyecto, con indicación de la respectiva unidad fisiográfica.

Cuadro 5: tipo de vegetación de acuerdo a la unidad fisiográfica

Unidad		Símbolo
Fisiografía	Vegetación-uso	
Terraza baja ondulada	Pasto	TBO-Pasto
Terraza baja ondulada	Bosque secundario	TBO-BS
Terraza baja ondulada	Bosque primario residual	TBO-BPR
Terraza baja ondulada	Agricultura	TBO-Agricultura
Terraza baja ondulada	Caminos, lagunas, piscigranjas	TBO-Otros
Llanura inundable	Pasto	Lli-Pasto
Llanura inundable	Bosque secundario	Lli –BS
Llanura inundable	Bosque primario residual	Lli-BPR
Llanura inundable	Agricultura	Lli-Agricultura

Fuente: VCS (Voluntary Carbon Standard) Project Description – Campo Verde, 2009

#### 4.1.9 Fauna

La actividad agropecuaria desarrollada en esta zona ha depredado los bosques y empobrecido el suelo. El desmedido pastoreo por la ganadería y la contaminación del ambiente acuático, ha acelerado la destrucción del hábitat natural de cientos de especies, vertebrados e invertebrados, terrestres y de los recursos hidrobiológicos.

La destrucción del hábitat afecta a la mayor parte de las especies de fauna, que por lo general viven en densidades bajas: Las aves como Guacamayo (*Ara spp.*), Perdiz (*Tinamus spp.*), Pihuicho (*Brotogeris spp.*), Tucán (*Rhamphastos spp.*) entre otras, son especialmente vulnerables a la reducción del hábitat. Asimismo, la comercialización de carne de monte también ha contribuido con la disminución y hasta desaparición de la población natural de la fauna silvestre, siendo muy notable lo de primates que ha sufrido una significativa disminución de sus poblaciones.

En las condiciones de bosques primarios residuales y bosques secundarios adultos, donde se desarrolla el Proyecto y conformado por terrazas bajas onduladas y llanuras inundables, el ecosistema no ha sido vulnerado en su totalidad. Existen refugios para un grupo de animales que ocurren con mayor regularidad; así, de acuerdo a las parcelas evaluadas se ha podido registrar la presencia de 62 vertebrados. La de mayor

ocurrencia relativa es la carachupa con 69% de presencia en toda el área, seguidos por pía pía con 37.9%, majaz con 34.5%, lagartija y sachacuy con 24.1%, etc.<sup>6</sup>

Esta fauna se da con mayor frecuencia por las condiciones de vegetación y la presencia de una quebrada, con agua permanente, que atraviesa la zona, en donde necesariamente bajan los animales para beber; así como por la presencia de bosques primarios residuales y bosques secundarios adultos y bosques de galería en donde los animales encuentran distintos frutos para alimentarse.

Cuadro 6: Las principales especies de fauna que se encuentran en las zonas de bosques cerca de los límites.

Common name	Scientific name
Carachupa	<i>Dasypus novemcinctus</i>
Majaz	<i>Agouti paca</i>
Sachacuy	<i>Proechimys spp</i>
Perdiz	<i>Crypturellus cinereus</i>
Musmuqui	<i>Aotus spp</i>
Paucar	<i>Cacicus sp</i>
Zorro	<i>Didelphis marsupialis</i>
Añuje	<i>Dasyprocta fuliginosa</i>
Choshna	<i>Potos flavos</i>
Tucán	<i>Rhamphastos spp</i>
Achuni	<i>Nasua nasua</i>
Huasa	<i>Saimiri sciureus</i>
Jergón	<i>Bothrops sp.</i>
Pichico	<i>Saguinus fuscicollis</i>
Pucacunga	<i>Penelope jacquacu</i>
Sajino	<i>Tayassu tajacu</i>
Ardilla	<i>Sciurus sp.</i>
Camungo	<i>Anhima cornuta</i>
Gavilán	<i>Leucopternis occidentalis</i>
Ronsoco	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>
Trompetero	<i>Psophia leucoptera</i>
Panguana	<i>Crypturellus undulatus</i>

Fuente: VCS (Voluntary Carbon Standard) Project Description – Campo Verde, 2009

De las especies mencionadas anteriormente, cinco se consideran en peligro de extinción, según el Instituto Nacional de Recursos Naturales<sup>7</sup>. *Leucopternis occidentalis* es considerada en la categoría de En Peligro, *Bothrops sp.* Y *Crypturellus cinereus* son considerados en la categoría de Vulnerable, *Cacicus sp* y *Rhamphastos spp* son considerados en la categoría de Casi Amenazada. El hábitat se encuentra fuera de la frontera de la zona del proyecto.

<sup>6</sup> AIDER. 2006. Diagnostico biofísico, zonificación y caracterización de flora y fauna del área de trabajo.

<sup>7</sup> Categorización de especies amenazadas de fauna Silvestre. Aprobado per Decreto Supremo No 034-2004-AG

#### 4.1.10 Características del proyecto:

El principal objetivo del “Proyecto de Reforestación – Campo Verde” es rehabilitar y recuperar los suelos degradados a su capacidad de uso mayor forestal, corrigiendo los impactos existentes, reinstalando una cubierta vegetal con especies comerciales propias del área y/o adecuadas, estas a su vez asociadas con especies nativas mejoradoras de suelos como la guaba (*Inga edulis*) que por ser una especie endémica de la zona, las semillas son fácilmente disponibles y los árboles se propagan fácilmente; Además, el árbol es fijador de nitrógeno), la finalidad de esta asociación es que sea capaz de auto mantenerse y restaurarse progresivamente en el tiempo.<sup>8</sup>

El objetivo específico del manejo es reforestar las aéreas de pasturas degradadas con un sistema mixto donde en una primera etapa se siembra Guaba; esta por su rápido crecimiento es utilizada como formadora del ambiente para la siembra de las especies maderables, aportando biomasa al suelo para la formación de los microorganismos eficientes, cobertura el suelo para reducir la erosión hídrica y además sirve como acompañante inicial para el desarrollo vertical de las especies maderables, la primera etapa fue realizada el año 2008 y 2009 (Figura 17 y 18) y en la segunda etapa (2009 en adelante) se siembran las especies comerciales (con el fin de emular las sucesivas etapas de la regeneración del bosque); especies maderables secundarias como *Simarouba amara* (marupa), junto con la especie maderable "clímax" *Dipteryx odorata* (shihuahuaco) o *Tabebuia serratifolia* (tahuarí) conjuntamente con *Swietenia macrophylla* (caoba); y así ayudar a la regeneración natural de bosques naturales intervenidos para obtener ingresos a partir de: Cosecha sostenible de madera y secuestro de CO<sub>2</sub> de estas plantas.

El área establecida con plantaciones forestales, tiene una extensión de 602.62ha y consta de 64 Unidades administrativas denominadas Unidades de Manejo Forestal (UMF). Además se tiene 316.68 ha de regeneración natural, sumando 919.31ha en total. Esta área total se ha estratificado en ocho estratos, considerando al Estrato 3 como área de regeneración natural asistida. Por lo tanto se ha clasificado los siete estratos restantes, los cuales corresponden cada uno a un régimen de plantación, además se diferencian por composición de especies, características naturales de la zona, edad de plantación como se puede observar en el cuadro 7.

Los trabajos de caracterización de sitio y especies lo realizó el equipo técnico de biólogos y forestales de la empresa Bosques Amazónicos (BAM) en asociación con la empresa AIDER durante la línea base del proyecto.

---

<sup>8</sup> Plan General de Establecimiento de Plantación Forestal, Bosques Amazónicos SAC, 2012.



Figura 17: Plantación 2008 de guaba a los 6 meses

Fuente: BAM



Figura 18: plantación 2008 de guaba a los 22 meses

Fuente: Propia

Cuadro 7: Estratos de la plantación en el área VCS de proyecto, sub-divididos por unidades de manejo forestal

Estrato	N° de UMF Comprendidas Por Estrato	Régimen	Año de siembra	Área VCS (ha)	Modelo	COMPONENTES A FUTURO
1	23	Stand model 1	2009	156,28	3x3	Plantación de Shihuahuaco + Marupá + Caoba, con guaba plantada con anterioridad
2	13	Stand model 2	2009	91,97	3x3	Plantación de Tahuarí + Marupá + Caoba, con guaba plantada con anterioridad
3	0	Reg. Nat. Asistida	No plantada	316,68	-	Regeneración natural
4	2	Stand model 3	2009	3,28	3x4	Plantación de Capirona + Shihuahuaco + Caoba, con Erythrina
5	2	Stand model 4	2010	1,47	3x4	Plantación de Shihuahuaco + Marupá + Caoba, sin guaba
6	16	Stand model 5	2010	279,97	3x4	Plantación de Shihuahuaco + Marupá + Caoba, con guaba plantada con anterioridad
7	6	Stand model 6	2010	63,95	3x4	Plantación de Tahuarí + Marupá + Caoba, con guaba plantada con anterioridad
8	2	Stand model 7	2010	5,71	3x4	Plantación de shihuahuaco y caoba, con guaba plantada con anterioridad
<b>7 Estratos definidos</b>	<b>64 UMF establecidas</b>	<b>7 Stand model definidos</b>	<b>2 campañas</b>	<b>919,31</b>	-	
<b>Área Total</b>				<b>919,31</b>	-	

Fuente: VCS (Voluntary Carbon Standard) Project Description – Campo Verde, 2009.

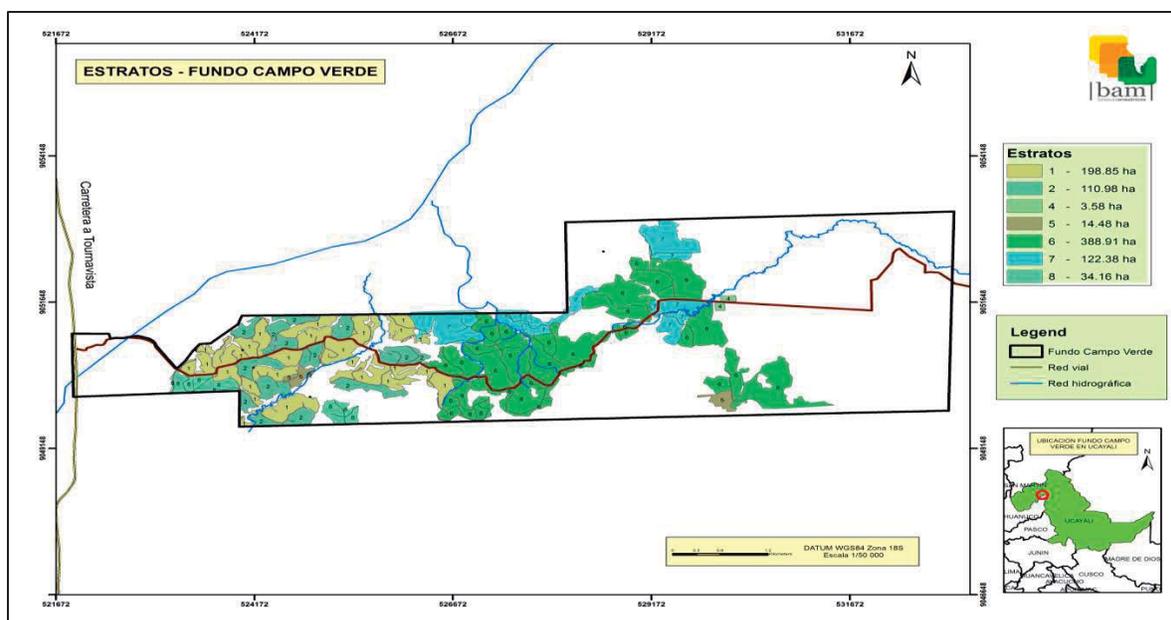


Figura 19: Mapa de la plantación de Guaba en campo verde

Fuente: VCS (Voluntary Carbon Standard) Project Description – Campo Verde, 2009.

## 4.2 MATERIALES Y EQUIPOS

### 4.2.1 Materiales

- Soguilla de 20 metros;
- Plumones indelebles Faber Castell;
- Bolsas de papel, periódicos;
- Bolsas de plástico;
- Costales;
- Libreta de campo;
- Lápices mongol;
- formatos.

### 4.2.2 Equipos

- Motosierra Still MB250 espada 60cm;
- Estufa de secado marca Fisher 300;
- Laptop HP Pavilion 64bits;
- Cámara fotográfica Kodak slim;
- Wincha Wegner, de 50 metros con 0.5 cm. de precisión;
- Wincha Wegner, de 3 metros con 0.1 cm de precisión;
- Forcípula de Madera 0,1 cm. de precisión;
- Vernier de 20cm con precisión de 0,05 cm marca Haglof
- Tijera de Podar marca Bellota;
- Serrucho tipo 30 segueta, marca Bellota;
- Machete marca Bellota;
- Balanza de platillo Camry de 1 kg con 2 gr de precisión;

- Balanza de precisión Camry de laboratorio de 0.1 gr de precisión;
- Balanza Romana de 100 kg con precisión de 50 gr;
- Hipsómetro Suunto;
- Brújula Suunto;
- GPS Garmin;
- Botas de jebe marca Venus;
- Mapas;
- Calculadora Casio.

### 4.3 METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó en 5 fases: 1. Preparación y diseño de la muestra, 2. Fase de campo, que consistirá en realizar el inventario dentro de las plantaciones y el recojo de muestras; 3. Transporte de muestras; 4. Fase de laboratorio que consistió en el secado y pesado de las muestras; 5. Fase de gabinete, donde se desarrolla el procesamiento, análisis e interpretación de los datos para determinar la cantidad de carbono en sistema forestal estudiado.

#### 4.3.1 Fase de Preparación y diseño de la muestra

Se revisó la información disponible de línea base del proyecto, se preparó los formatos, se preparó los materiales y equipos a utilizar. Se preparó un cronograma de trabajo de la investigación. Para el diseño de la muestra, diseño de procedimientos, variables a tomar, la elección de los árboles a extraer, los reservorios a evaluar, se siguió la metodología IPCC de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) AR-AM0003 V04<sup>9</sup> de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC/CCNUCC) y sus procedimientos (SOP's)<sup>10</sup> aprobados por el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) ambos entes de Organización de las Naciones Unidas (ONU); Se complementó con los procedimientos de muestreo y medición desarrollados por WINROCK Internacional<sup>11</sup>. También se tomó en cuenta para el estudio la “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales” (ICRAF, Rugnitz *et al.*, 2009); y la metodología de ICRAF (Arévalo *et al.*, 2003).

---

<sup>9</sup> Página Web:

[http://cdm.unfccc.int/filestorage/C/D/M/CDMWF\\_AM\\_WO71YSOQFYU1IVJ51HYW9H5737D1R9/EB42\\_AR-AM0003\\_ver04.pdf?t=Tm98bXlyb2tofDDOhCUmPJc0L25DI8oNyoK](http://cdm.unfccc.int/filestorage/C/D/M/CDMWF_AM_WO71YSOQFYU1IVJ51HYW9H5737D1R9/EB42_AR-AM0003_ver04.pdf?t=Tm98bXlyb2tofDDOhCUmPJc0L25DI8oNyoK)

<sup>10</sup> Página Web: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

<sup>11</sup> Página Web:

[http://www.winrock.org/ecosystems/files/Winrock\\_Terrestrial\\_Carbon\\_Field\\_SOP\\_Manual\\_2012\\_Version.pdf](http://www.winrock.org/ecosystems/files/Winrock_Terrestrial_Carbon_Field_SOP_Manual_2012_Version.pdf)

Se definió tomar muestras de los diferentes estratos, sub –divididos en Unidades de manejo forestal (UMF) pre-establecidas en la plantación, para estimar la cantidad total de la biomasa aérea de la plantación de *Inga Edulis* y su cuantificación de carbono.

La decisión de la empresa BAM luego de levantar la línea base del proyecto fue evaluar solo la biomasa aérea y estimar la biomasa de raíces a partir de la biomasa aérea utilizando un factor por defecto del IPCC 2003.

En el Anexo 9.5.1 se brinda mayores detalles de la recopilación de información tanto de la Línea Base del proyecto, como de fuentes externas (Estudios previos y metodologías IPCC) que permiten justificar la selección de los reservorios aéreos arbóreos como los únicos reservorios a evaluar.

#### **4.3.1.1 Número de parcelas y Ubicación**

Se determinó mediante el diseño de muestreo sistemático el número de parcelas de muestreo (n) utilizando las variables: Error permitido de 10 % (E), coeficiente de variabilidad de la zona (CV) y muestra estadística de la distribución (t) para un nivel de confianza de 95 %. El coeficiente de variación de 36.6%, fue estimado con base en un muestreo del bosque colindante que se realizó durante la línea base del proyecto para disponer de este parámetro (BAM 2009)<sup>12</sup>

$$n = t^2 (CV)^2 / E^2$$

Donde,

n: Número de muestras

t: Valor De la tabla t de Student para un nivel de confianza 95%, equivalente a 2

CV: Coeficiente de variación del sitio (36.6%)

E: Error de muestreo (10%)

Al resultado, se aumentó un 20% de parcelas por seguridad, siguiendo las recomendaciones bibliográficas para reducir variabilidad de mediciones (Satoo 1982).

Las parcelas fueron ubicadas dentro de los estratos de la plantación en relación al tamaño del estrato, Los estratos se encuentran dentro de unidades de manejo forestal (UMF), que viene a ser una clasificación por fecha de campanas de siembra. El número de estratos de la plantación definidos en la línea base es 8, de los cuales 2 son de conservación de bosques remanentes los cuales no ingresan a la contabilidad de biomasa aérea ni de carbono. La distribución de las parcelas dentro de los 6 estratos restantes se determinaron al azar mediante grillas las cuales se elaboraron en el Software ArcGis arcmap V.10, donde

---

<sup>12</sup> Campo Verde VCS PD 2009 – Revisión 2. Página web:

<https://vcsprojectdatabase2.apx.com/myModule/interactive.asp?Tab=Projects&a=2&i=658&lat=&lon=>

se carga el shape (capa) de la plantación georeferenciada previo a la etapa de monitoreo, según se muestra en la figura 20.

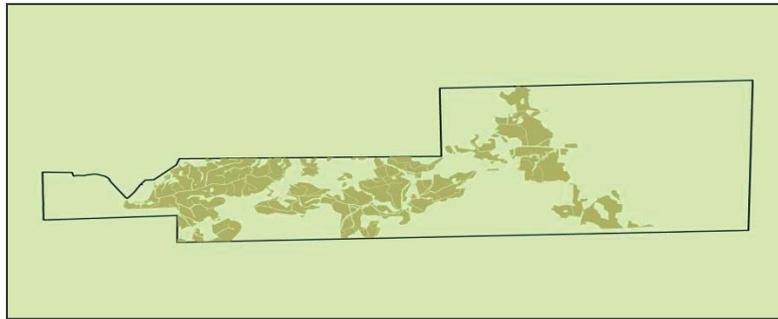


Figura 20: Mapa de referencia de la plantación

Fuente: Especialista SIG - BAM

Con apoyo de un especialista SIG (sistemas de información geográfica) se usó la herramienta disponible en el software, localizada en el ArcToolBox – Data Management Tools – Feature class → Create fishnet (ver figura 21). Esta herramienta permite crear una grilla de las dimensiones que se desea, en este caso, de 35 X 35 metros del tamaño de la parcela; y se eligió solamente aquellas cuadrículas que se intersecan con el área de plantaciones. Luego, se procede a la obtención de un centroide por cada cuadrícula, esto se logra ejecutando en el Arctoolbox – Data Management Tools – Features → Feature to point. Con esto, cada cuadrícula obtiene un punto central dentro de su perímetro. Finalmente, una vez obtenidos los centroides de cada cuadrícula, se ejecuta la herramienta disponible en el ArcToolbox – Data Management Tools – Feature → Add XY coordinates (ver figura 22).

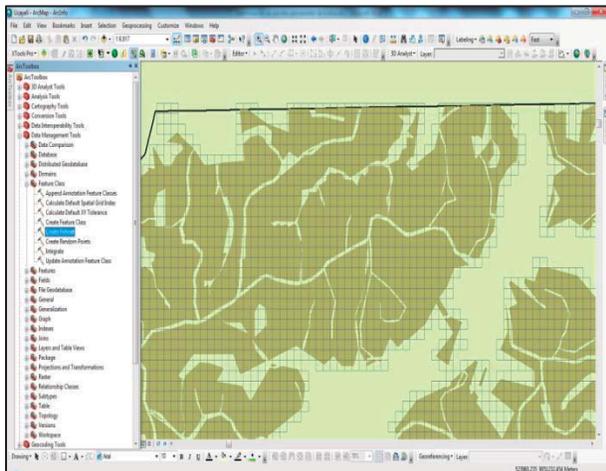


Figura 21: Shape con grilla 35x35m

Fuente: Especialista SIG - BAM

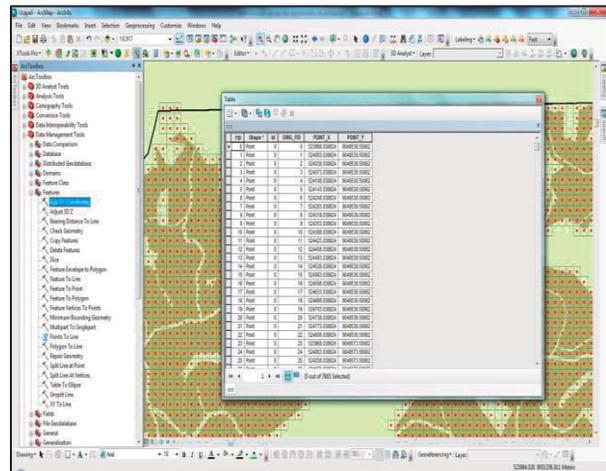


Figura 22: Shape centroides y sus coordenadas “XY”

Fuente: Especialista SIG - BAM

Con esta opción, se tiene el total de parcelas numeradas y las coordenadas de cada uno de los centroides en una tabla, que será exportada al programa Excel y mediante la función: *aleatorio.entre (número inferior.número superior)* nos genera un número al azar entre el rango numérico introducido. Finalmente, el resultado de esta fórmula nos dio el número de la parcela seleccionada para evaluación.

Con esta información descargada en el GPS se dirigió a los puntos físicos y se ingresó las coordenadas UTM del GPS para fines de verificación. En el formato se tiene el total de parcelas numeradas, el estrato donde se ubican y los nombres de las unidades de manejo forestal (UMF) donde se ubica el estrato.

#### 4.3.1.2 Diseño de Inventario

El tamaño de las parcelas se basan en las herramientas de medición forestal: Forest measurements de Winrock International aceptada por la metodología A/R AM0003, para parcelas cuadradas de 35 m x 35 m.

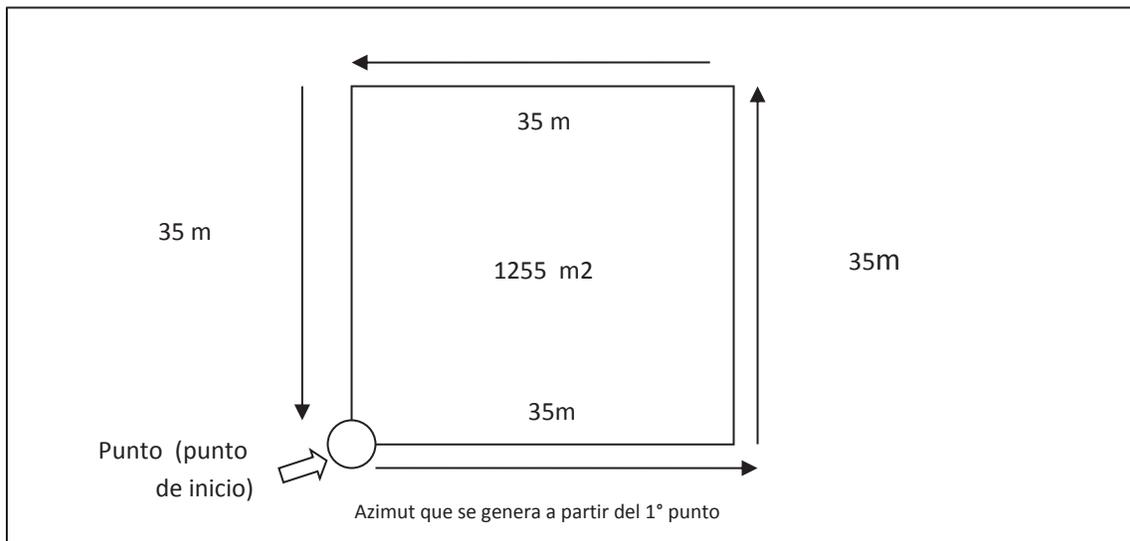


Figura 23: Diagrama de Parcela de muestreo

Fuente: propia

Para el establecimiento y señalización de la parcela, deberán marcarse en el terreno los vértices de manera que, se puedan reubicar en el futuro por personas o técnicos diferentes a los que las establecieron originalmente y por los verificadores externos del proyecto.

Para dicho fin, una vez encontrado el punto con el GPS, esta se debe señalizar con un jalón de tubo plástico de PVC enterrados, dejando 50 centímetros por encima del suelo. A partir de este, con la ayuda de una Wincha, se debe medir 35 metros por lado y efectuar el registro del azimut de partida, para ello tomar como referencia la dirección de la línea de plantación para así determinar el vértice 2°.

Luego se continúa con el trazado de un ángulo de 90° para determinar la segunda línea. Seguidamente se hace lo mismo para determinar la tercera línea, y siempre señalizando los vértices 2°,3° para luego trazar la última línea, al unir los vértices 3° con el 1°.

Luego se realiza el inventario total de los árboles de la especie *Inga edulis* dentro de cada parcela de muestreo tomando datos de: ubicación (número de estrato, UMF y numero de parcela), edad de la Unidad de manejo forestal (UMF), diámetro altura cuello (DAC), altura total (HT), numero de ejes y código de árbol dentro de la población de la parcela. Dentro de cada parcela establecida se realizó el inventario con ayuda del personal de la empresa BAM, divididos en 5 brigadas de 3 personas.

Dentro de cada parcela de muestreo, la toma de muestras de individuos para el análisis destructivo, se realiza sobre la base de diámetros más representativos de cada categoría diamétrica (previo trabajo de gabinete para la selección por frecuencias diamétricas).

Para determinar el número de árboles a extraer y con fines de no afectar la plantación y seguir los lineamientos de la metodología AR-AM0003 - IPCC, la toma de individuos muestras para el análisis destructivo se basan en el 2% de la población de guabas de las parcelas de evaluación. Se colectaran los datos mediante la ayuda de un formato pre-establecido (anexo 9.4.2); con los materiales e instrumentos indicados se realizara las evaluaciones de medición, el derribo y pesado de los componentes.

#### **4.3.2 Fase de Campo**

##### **4.3.2.1 Evaluación destructiva y medición biomasa aérea**

Se seleccionó los árboles tipo, dentro de las parcelas de evaluación, cubriendo todo el rango diamétrico de las plantaciones de acuerdo a los censos realizados con la ayuda de BAM.

El procedimiento es el siguiente:

- ✓ Diámetros (DAC): Se registró el diámetro altura cuello (DAC), a los 5 cm del nivel del piso, de los árboles antes de ser derribados. El diámetro altura pecho (DAP) no es un buen indicador debido a que la Guaba suele presentar ramificaciones del fuste antes de la altura pecho. Se recomienda establecer ecuaciones alométricas a partir del diámetro basal. Se utilizó una forcípula de madera de 40 cm o Vernier de 20cm con precisión de 0,5 cm marca Haglof.



Figura 24: Evaluación del diámetro altura cuello en campo

*Fuente: propia*

- ✓ Altura (H): Se registró la altura total del árbol antes y después de ser derribado. La altura total del árbol en pie, medido con un Hipsómetro Haga a una distancia 15 m y derribado, con una cinta Wincha de 50m.



Figura 25: Evaluación de la altura en campo

*Fuente: propia*

- ✓ Tumbado y trozado: Los árboles seleccionados para el muestreo fueron apeados y divididos con motosierra marca Stihl y/o cola de zorro, de acuerdo al diámetro, y su biomasa fue separada según sus componentes: el componente fuste, el componente ramas y el componente hojas.



Figura 26: Derribo de arboles

*Fuente: propia*

- ✓ Pesado: Se registró los pesos frescos totales de cada uno de los componentes del árbol. (Fuste, Ramas, Hojas).
  - Para el fuste: el peso fue obtenido con una balanza tipo reloj de 100 kg, con precisión de 50 gr. El fuste fue dividido en secciones para facilitar la actividad, y que no sobrepase el límite de la balanza, al momento de pesar se descontó el peso de la soga.
  - Para las Ramas: el peso fue obtenido con una balanza tipo reloj de 100 kg, con precisión de 50 gr. Se juntó y peso todas las ramas en costales con pesos menores del límite de la balanza y se descontó el peso del costal y soga.
  - Para las hojas: en esta especie la copa normalmente está compuesta por muchas ramas y tallos secundarios, con su respectivo follaje, por lo tanto antes de la tumba del árbol se colocó una manta plástica para facilitar la recolección y el pesaje de las hojas. El peso fue obtenido con una balanza tipo reloj de 100 kg, con precisión de 50 gr, se juntó todas las hojas en costales con pesos menores del límite de la balanza y se descontó el peso del costal y soga.



Figura 27: Pesado de hojas en campo

*Fuente: propia*

Luego se obtuvieron muestras de cada uno de los árboles y sus componentes y se registró su peso fresco o húmedo. El peso fresco de cada uno de las sub-muestras fue: para fuste (discos numerados de 5cm de espesor cortado a los: 30cm, 1.3m, 2m y luego cada 1 metro dependiendo de la altura del árbol); para ramas (100 -150gr) y para hojas de (20-30gr). Las muestras fueron inmediatamente pesadas en una balanza tipo platillo de 1 Kg de capacidad y precisión de 2 gr. Además al separar las ramas; se debe tomar en cuenta el tomar una muestra representativa de ramas gruesa, mediana y delgada, pesar y registrar el peso húmedo de la muestra y codificarlas.



Figura 28: Pesado de muestra -hojas en campo

*Fuente: propia*

✓ Empaquetado:

Cada muestra será introducida a un paquete de papel periódico, la cual será marcada con los datos de la Categoría diamétrica, Unidad de Manejo forestal donde se ubica la Parcela, número de árbol, muestra húmeda del tipo de componente del árbol y será empacada (ver figura 29). Todas las muestras provenientes del mismo árbol y misma parcela fueron introducidas en uno o dos sacos de algodón, dependiendo del tamaño del árbol, y trasladada a la ciudad de Pucallpa



Figura 29: Empaquetado de muestras

*Fuente: propia*

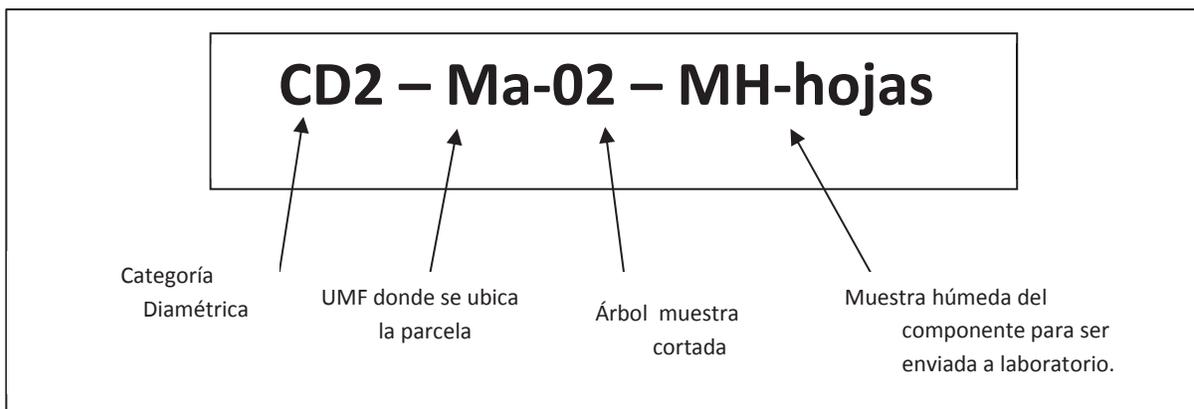


Figura 30: Clasificación de empaque de la muestra del árbol

*Fuente: propia*

### 4.3.3 Fase de Transporte

Los paquetes fueron trasladados de las parcelas de muestreo hacia un punto de acopio cercano a la carretera, luego se movilizaron del fundo Campo verde ubicado a 1 hora de distancia de la ciudad de

Pucallpa, se trasladaron en una camioneta de la empresa BAM, los costales fueron cubiertos con una manta plástica para evitar caída de los paquetes y prevenir que se mojen con la lluvia en caso se diera una. En la ciudad de Pucallpa las muestras fueron retiradas del saco para ser colocadas sobre una mesa del en el laboratorio de propiedades físico-mecánicas de la facultad de ciencias forestales de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), con lo cual se buscaba evitar la proliferación de hongos.

#### 4.3.4 Fase de Trabajo de laboratorio

##### 4.3.4.1 *Secado y Pesado*

Las muestras fueron llevadas al horno de secado del laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), en donde se determinó el peso seco de cada muestra. Las muestras de fuste, ramas y hojas fueron pesadas una vez más en húmedo y luego sometidas al horno a 105°C, donde eran pesadas hasta llegar a un peso constante y finalmente registrar el peso seco de la muestra (ICRAF 2009).



Figura 31: Secado de muestras en laboratorio

*Fuente: propia*



Figura 32: Toma de pesos durante secado

*Fuente: propia*

#### 4.3.5 Fase de gabinete

##### 4.3.5.1 *Determinación de la biomasa seca de cada componente*

La data de Pesos secos de cada muestra se organizó y registró en formato preestablecido (anexo 9.4.3) y se digitalizo en una hoja de Excel del programa Office 2007, donde se tiene el Peso seco de la muestra por tipo de componente (fuste, ramas, hojas) para cada uno de los individuos extraídos, además se

digitalizo el dato de pesos húmedo de la muestra por tipo de componente (fuste, ramas, hojas) y el peso húmedo total o biomasa húmeda total del componente registrado en campo.

La ecuación general (ICRAF 2009) para la obtención de la biomasa seca del componente fue:

$$\mathbf{BS_{componente} = (Psm/Phm)* BHt_{comp}}$$

Donde:

$BS_{comp}$  = Biomasa seca total del componente (kg)

$Psm$  = Peso seco de la muestra (gr)

$Phm$  = Peso húmedo de la muestra (gr)

$BHt$  = Biomasa húmeda total del componente (kg)

- La biomasa total del árbol es determinada sumando la biomasa seca de cada uno de sus componentes

$$\mathbf{BT_{arbol} = (BS_{fuste} + BS_{ramas} + BS_{hojas})}$$

Dónde:

$BT_{arbol}$  = Biomasa total del árbol en base a biomasa seca de sus componentes (kg)

$BS_{fuste}$  = Biomasa seca del fuste (kg)

$BS_{ramas}$  = Biomasa seca de las ramas (kg)

$BS_{hojas}$  = Biomasa seca de las hojas (kg)

#### 4.3.5.2 *Análisis de regresión*

Para la elaboración de la ecuación alométrica o modelo de biomasa (seca) aérea para la especie *Inga edulis*, se utilizará como variables predictoras el DAC y altura total (Ht). Para su análisis estadístico se utilizó el software SPSS versión 19.0

Antes de elaborar una ecuación se debe tener los datos digitalizados de las muestras (arboles): DAC, Altura Total (Ht), altura fuste (Hf) y sus derivados ( $DAC^2$ ,  $Ht^2$ , etc.), además del dato de biomasa Seca del árbol (calculada anteriormente en el proceso de extracción, secado y pesado de muestras), a partir de estos datos se generarán ecuaciones de regresión lineal (simple o múltiple), siendo la Biomasa Seca total la variable dependiente y las otras variables independientes.

Se siguieron 3 etapas puntuales para la selección de la ecuación alométrica que mejor estima la biomasa seca aérea del árbol.

#### A) Selección de Modelos Alométricos

Se seleccionaron modelos matemáticos (ecuaciones alométricas) provenientes de diversos autores o fuentes (cuadro 8), se priorizo aquellos que consideran en sus ecuaciones las mismas variables que las obtenidas en campo durante el muestreo (DAC y Ht). La variable dependiente es la Biomasa seca total o Peso total (PT) y las variables dependientes son, diámetro altura cuello (DAC) y Altura total (Ht).

Cuadro 8: Modelos de ecuaciones alométricas.

1	Naslund	$PT = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2(d^2h) + \beta_3(dh^2) + \beta_4h^2$
2	Schumacher-Hall	$LnPT = \beta_0 + \beta_1 Lnd + \beta_2 Lnh$
3	Husch	$LnPT = \beta_0 + \beta_1 Lnd$
4	Meyer	$PT = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 d^2 + \beta_4 (d^2h) + \beta_5 (dh)$
5	Stoate	$PT = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 d^2 + \beta_3 (d^2h)$
6	Spurr	$LnPT = \beta_0 + \beta_1 Ln (d^2h)$
7	Adler	$PT = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$
8	Adler	$PT = \beta_0 + \beta_1 d^2$
9	Araujo	$LnPT = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^3 + Lnd$

Fuente: Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (ICRAF), Adler (1980) y Araujo (1994, Globalometree.com)

#### B) Análisis de los Modelos o ecuaciones:

Se realizaron diferentes pruebas estadísticas a las ecuaciones seleccionadas, en una serie de pasos explicados a continuación:

##### I. Coeficiente de Determinación ( $R^2$ )

- ✓ Cuanto más próximo de uno (1) es el valor de  $R^2$ , mejor fue realizado el ajuste
- ✓ Mientras más cercano a 1, la variabilidad de los datos estará explicada por el modelo (Ecuación).

- ##### II. Análisis de Varianza (ANVA) realizado con el programa SPSS v.19, que consiste en la descomposición de la variación total o suma de cuadrados total en sus fuentes de variación (suma de cuadrados de regresión (SCR), la suma de cuadrados del error (SCE), el cuadrado medio de la regresión (CMR) y cuadrado medio del error (CME) explicado en siguiente punto, expresadas en un cuadro resumen que da el programa;

además nos da información sobre la prueba F de Fisher con los cuales nos permitirán discernir entre varios modelos, el mejor predictor el cual tenga significancia  $P \leq 0.005$

- ✓ Se realizó la Prueba F o de Fisher, para probar la falta de ajuste al modelo donde:

$$F_c > F_t, \text{ se rechaza la } H_0 \text{ (nula)}$$

$$F_c \leq F_t, \text{ no se rechaza la } H_0 \text{ (nula)}$$

III. **Prueba “t” de Student**, para probar que X aporta información suficiente para predecir Y.

- ✓ Se compara la “t” calculada con la “t” tabular que se obtiene directamente de la tabla student para un nivel de significancia ( $P \leq 0.05$ ) y de dos colas con grados de libertad ( $n-2$ ) donde:

$$t_c > t_t \text{ se rechaza la } H_0$$

$$t_c \leq t_t \text{ no se rechaza la } H_0$$

IV. **Cuadrado medio del error (CME)**, se busca que sea el menor valor posible, para que el ajuste al modelo sea el mayor.

- ✓ Este estadígrafo no permite las comparaciones entre modelos lineales con variables transformadas y sin transformar, en estos casos se debe usar el estadígrafo (IF: índice de Furnival).

V. **Índice de Furnival (IF)**, permite comparar modelos lineales con aquellos donde la variable dependiente es transformada, ejemplo  $\text{Log (BT)}$ ,  $\text{LN (BT)}^2$ , etc. Para los modelos donde la variable dependiente no se transforma el IF es igual al RCME y cuanto más pequeño es el IF mejor es el ajuste al modelo.

C) Selección de la mejor ecuación

A partir de las pruebas estadísticas realizadas, se selecciona un primer grupo de ecuaciones que tiene un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) aceptable (valor fijado 0.8), luego un segundo filtro donde las ecuaciones a ser aceptadas tengan un “F” calculado mayor al “F” tabular y que tenga un “t” calculado mayor al “t” tabular.

Con el grupo ecuaciones que pasaron estos 2 filtros se analiza el Cuadrado medio del error (CME) donde se busca que sea el menor valor posible, para que el ajuste al modelo sea el mayor. Finalmente con las ecuaciones restantes se separan en dos grupos: ecuaciones logarítmicas y no logarítmicas y se aplica la

prueba “IF: Índice de Furnival”, siendo este último utilizado como un criterio de selección entre un grupo de ecuaciones de regresión transformada y otro grupo de ecuaciones de regresión no transformada, la mejor ecuación será la que tiene un CME y IF más cercano a cero.

#### 4.3.5.3 *Estimación de Biomasa aérea de la plantación*

Se estimó la biomasa aérea total de los arboles vivos y de los muertos en pie a partir del modelo o ecuación alométrica generada. Para encontrar la cantidad de biomasa seca presente en los arboles de las parcelas del inventario forestal de las plantaciones se aplicó la ecuación alométrica seleccionada a partir de las variables tomadas en campo (DAC o Ht). Obteniéndose la biomasa seca total por árbol: (**BT** árbol).

Luego se estimó la biomasa total de cada parcela de muestreo ( $BT_{Parcela}$ ) la cual se obtuvo al sumar los valores individuales de biomasa de cada árbol ( $BT_{árbol}$ ) que se encontraba dentro de la parcela de muestreo de 35x35 metros (1225m<sup>2</sup>).

Debido a que cada estrato de la plantación tiene dos o más parcelas de muestreo, se determinó un promedio de biomasa total de las parcelas dentro del estrato ( $BT_{Estrato/parcela\ prom}$ ) con un tamaño de 1225m<sup>2</sup>.

Luego por regla de tres simple se calculó la cantidad de biomasa del estrato por hectárea ( $BT_{Estrato/Hectarea}$ ).

$$BT_{Estrato /hectarea} = (BT_{Estrato/parcela\ prom}) \times (10\ 000\ m^2 / 1225\ m^2)$$

*Donde,*

$BT_{Estrato/Hectarea}$  : *BT total por cada hectárea en estrato “x”.*

$BT_{Estrato/Parcela\ prom}$  : *BT total promedio por cada parcela en estrato “x”.*

Finalmente para encontrar la cantidad de biomasa aérea del estrato se multiplicó el valor calculado de Biomasa total del estrato por hectárea ( $BT_{Estrato/Hectarea}$ ) por el número de hectáreas que tiene el estrato y que va ser usado como venta de carbono. Y al sumar todos los estratos se tiene la biomasa aérea total de la plantación.

$$BT_{Plantacion} = \sum_{Estratos} (BT_{Estrato/Hectarea}) \times (\#ha)$$

*Donde,*

$\sum_{Estratos}$  : *Suma de estratos de la plantación (ha)*

$BT_{Estrato/Hectarea}$  : *Biomasa total por hectárea en un estrato “x”.*

$\#ha$  : *número de hectáreas en un estrato “x”.*

#### **4.3.5.4 Estimación de la cantidad de carbono de la plantación**

Para estimar la cantidad de carbono de la plantación, se multiplico el valor de biomasa aérea de la plantación ( $BT_{Plantacion}$ ) por la fracción de carbono por defecto del IPCC 2003.

$$C(\text{plantación}) = BT(\text{plantación}) * FC$$

*Donde,*

$C_{Plantación}$  = Cantidad de carbono de la Plantación en (kg)

$BT_{Plantación}$  = Biomasa Total de la plantación en (kg)

$FC$  = Fracción de Carbono IPCC 2003 (valor: 0.5, fuente: IPCC-2006, Hughes et al., 2000).

Finalmente al resultado de carbono de toda la plantación se aplicó el factor de conversión 44/12 (IPCC 2003) de unidades de carbono (C) para transformar a unidades de Dióxido de carbono equivalente ( $CO_2$ ) y se transformó las unidades de kg a toneladas, dividiéndolo entre 1000, obteniendo tn  $CO_2$ .

Durante mucho tiempo se le ha dado valor a los ecosistemas boscosos, pero solo en función a la cantidad y calidad de las especies forestales comerciales que se encontraban, actualmente y a raíz de la problemática mundial del cambio climático, se ha creado el mercado de carbono para pagar por el servicio ambiental de secuestro de carbono que el bosque presta a la humanidad.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 PREPARACIÓN Y DISEÑO DE LA MUESTRA

Se preparó los formatos de toma de datos (anexo 9.4), se listo y presupuesto los materiales y equipos a utilizar y se registraron en un formato definido (anexo 9.2). Se determinó un cronograma de trabajo para la realización de la investigación (anexo 9.1).

### 5.2 TRABAJO DE CAMPO

#### 5.2.1 Numero de parcelas y Ubicación

El número de muestras calculadas fue 54 parcelas; sin embargo, siguiendo la metodología propuesta se adiciono un 20% por seguridad, obteniendo 65 parcelas.

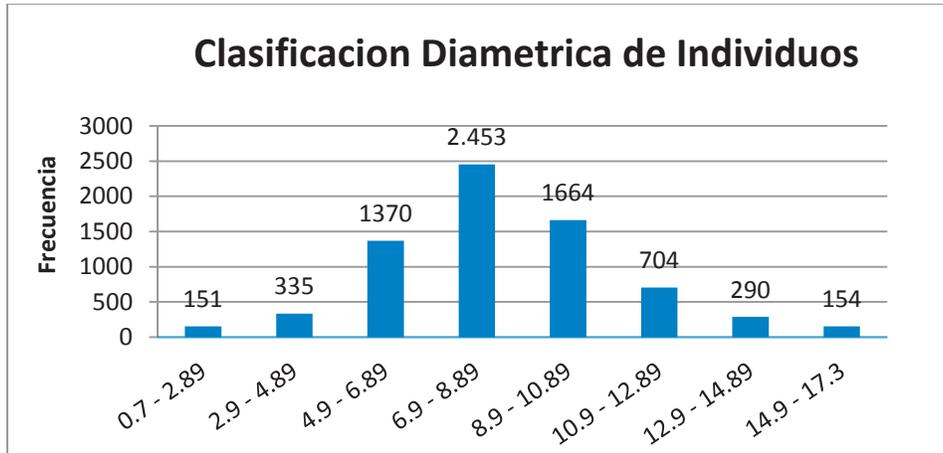
Mediante el uso del Software ArcGis arcmap V.10, el croquis de la plantación y el GPS Garmin, las parcelas de muestra fueron ubicadas en campo dentro de los 6 estratos de la plantación, se dirigió a los puntos físicos y se ingresó las coordenadas UTM del GPS. En el formato (anexo 9.4) se registró el total de parcelas numeradas (65), el estrato donde se ubican y los nombres de las unidades de manejo forestal (UMF) donde se ubica el estrato.

#### 5.2.2 Inventario

Dentro de cada parcela establecida se tomaron los datos de la especie *Inga edulis*: Ubicación (Nombre de la Unidad de manejo forestal (UMF), estrato, numero de parcela), edad de la UMF, diámetro altura cuello (DAC), altura total (HT), numero de ejes, estado (vivo o muerto) y código de árbol dentro de la población de la parcela (anexo 9.4.2). Finalmente se evaluaron 7 121 árboles, no se consideró los árboles caídos.

A partir de la información obtenida se estimó las frecuencias totales y se hizo una división por clase diamétricas, se clasificaron 8 clases diamétricas (cuadro 9), que van desde los 0.7 cm hasta los 17.3 cm de diámetro. La clase diamétrica con mayor número de individuos de la clase #4 con 2 453 individuos representando el 34.4% de la población total. La clase diamétrica con mayores medidas de diámetros fue la clase #8.

Cuadro 9: Clasificación diamétrica de individuos



Fuente: Propia

La toma de individuos muestras para el análisis destructivo es el 2% de la población de guabas de las parcelas de evaluación. La cantidad total de individuos a extraer fue de 144 árboles de guaba.

Cuadro 10: Clasificación diamétrica de individuos e individuos a extraer

Código de Categoría diamétrica	Clase diamétrica	Frecuencia	Individuos a extraer (2%)
1	0.7 - 2.89	151	3
2	2.9 - 4.89	335	7
3	4.9 - 6.89	1370	28
4	6.9 - 8.89	2,453	49
5	8.9 - 10.89	1664	34
6	10.9 - 12.89	704	14
7	12.9 - 14.89	290	6
8	14.9 - 17.3	154	3
<b>TOTAL</b>		<b>7 121</b>	<b>144</b>

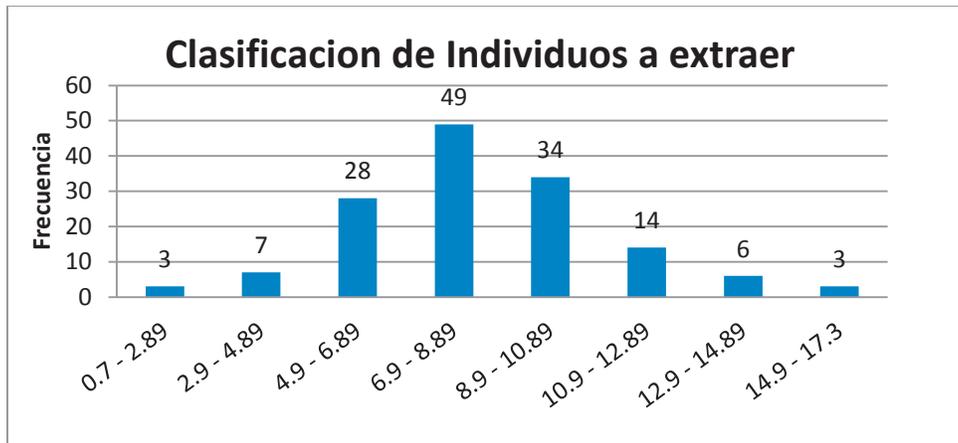
Fuente: Propia

### 5.2.3 Evaluación destructiva y medición biomasa aérea

Se ubicó lo arboles representativos por cada categoría diamétrica con la ayuda de los croquis de la plantación y el cuadro de distribución de individuos por clase diamétrica (cuadro 11), dichos individuos se marcaron con pintura roja para su posterior extracción.

La distribución diamétrica de los arboles a extraer está en relación de la distribución del inventario realizado previamente, se aprecia que la categoría diamétrica con mayor número de individuos a extraer es la categoría #4 con 49 individuos.

Cuadro 11: Distribución diamétrica de 144 individuos a extraer



Fuente: Propia

Todos los árboles fueron derribados y sus componentes separados y pesados independientemente (Fuste, Ramas y hojas), luego sus muestras fueron extraídas y pesadas. En el cuadro 12 se observa los datos procesados en versión digital, y ordenados por categoría diamétrica: nombre de UMF donde se ubica, DAC, Ht, Peso húmedo de cada componente y peso húmedo muestra de cada componente de los 144 árboles extraídos.

El árbol con mayor DAC es el #144 de la categoría diamétrica (CD) #8 con 15.35 cm y también posee uno de las mayores alturas con 6.5m. Por otro lado el árbol con menor DAC es el #1 de la CD#1 con 1.2cm y también posee una de las menores alturas con 1.1 m.

Cuadro 12: Toma de datos en campo de muestra de 144 árboles de la especie *Inga edulis*.

N° Individuo	Código Categ. Diam.	Código UMF	DAC (cms)	Altura Total (m)	PH Total Fuste (Kg)	PH Muestra Campo Fuste (gr)	PH Total Ramas (Kg)	PH Muestra campo Ramas (gr)	PH Total Hojas (Kg)	PH Muestra campo Hojas (gr)
1	1	VENADO	1.2	1.1	0.38	3	0.26	9	0.34	12
2	1	VENADO	2.1	0.97	0.54	12	0.56	17	2.4	23
3	1	LOMAS	2.83	2.45	1	15	0.378	31	0.242	14
4	2	LAGARTO	3.73	1.65	0.42	43	1	63	0.6	15
5	2	LAGARTO	3.85	2.3	3	41	3.5	84	3	20
6	2	LAGARTO	4.18	1.8	0.54	42	0.95	74	0.7	20
7	2	LAGARTO	4.2	1.8	0.148	82	2	34	1.1	20
8	2	ISULA	4.88	2.5	3	69	4.5	101	2.5	21
9	3	LOMAS	4.94	2.7	1.5	62	2	61	0.5	16
10	3	LOMAS	5.13	3.1	2	49	1.5	30	2.5	20
11	3	JERGON	5.33	3.6	2	106	5	120	2.5	16
12	3	LOMAS	5.38	3.5	1.5	80	6	110	1.5	20
13	3	MANGUAL	5.86	3.5	2	111	6	246	3.5	13

14	3	SHAPA	5.89	4.7	2.5	144	12	103	3	18
15	3	JERGON	5.95	4.2	1.5	157	10	99	3	18
16	3	OJE	6	3.7	2	186	6	216	3	13
17	3	MANGUAL	6.25	4.5	2	114	7.5	154	3	19
18	3	OJE	6.29	2.9	2.5	78	4	84	3	21
19	3	RUNA	6.3	2.8	1.5	125	3.5	47	0.5	21
20	3	RUNA	6.3	4.9	2	168	11	49	5	22
21	3	OJE	6.4	3.8	2.5	128	9	86	4	10
22	3	RUNA	6.4	3.95	2	161	12	100	3.5	23
23	3	RUNA	6.4	4.05	3	115	2.5	118	1	21
24	3	SHAPA	6.46	3.75	2.2	101	5.2	74	3.5	20
25	3	OJE	6.47	4	2.5	144	12	78	5	14
26	3	MANGUAL	6.52	4.4	3	162	11.5	206	5.5	14
27	3	RUNA	6.59	2.4	1.5	184	6	138	3	19
28	3	RUNA	6.62	4.3	5	154.9	10.5	159	1	14
29	3	RUNA	6.7	4.5	2.5	186	8.5	109	2.5	12
30	3	MANGUAL	6.7	4.2	6	143	8	116	5	20
31	3	OJE	6.74	2.5	2.5	115	5.5	131	2.5	12
32	4	JERGON	6.92	5.3	3.5	168	11.5	68	6	20
33	4	OJE	6.94	3.8	3.5	266	16	60	5	21
34	4	JERGON	6.94	4.2	1.5	199	15	134	3	20
35	4	SHAPA	6.99	2.9	3	160	11.5	112	4.4	18
36	4	OJE	7.1	5.2	3.5	192	23	146	9	22
37	4	LAGARTO	7.1	4.5	5	208	18	102.9	6.5	23
38	4	JERGON	7.22	4.2	2	154	10	126	2	18
39	4	OJE	7.23	4.3	3	133	10	69	6	30
40	4	LAGARTO	7.32	2.35	2	155	6.5	130	1	14
41	4	JERGON	7.32	5.1	4	145	10	72	3.5	22
42	4	RUNA	7.33	4.1	2.7	167	8.2	133	2.5	14
43	4	MANGUAL	7.37	4.2	2.5	211	14	85	6	22
44	4	RUNA	7.4	3.5	2.5	224	7	133	1.5	24
45	4	MANGUAL	7.4	4.1	2	158	12	118	6	20
46	4	MANGUAL	7.41	4.9	6.5	124	19	114	7	21
47	4	JERGON	7.41	5.9	2.5	331	19	86	10.5	24
48	4	LOMAS	7.5	3.5	2.5	317	8	118	2	24
49	4	SHAPA	7.68	6.5	4.5	157	12.5	135	4.5	20
50	4	LOMAS	7.7	3.9	2	157	12	31	5	20
51	4	LAGARTO	7.76	5	6.5	113	9	80	5	19
52	4	MANGUAL	7.78	4.5	2	212	16.5	93	6.5	13
53	4	LAGARTO	7.8	3.2	3	204	15	113	4.8	16
54	4	OJE	7.85	4	3.5	170	12.5	138	5.5	12
55	4	LAGARTO	8.02	4.4	2	189	11.5	116	3	26
56	4	RUNA	8.02	4	1.5	269	20	112	4.8	21
57	4	RUNA	8.05	4.8	2	261	11	59	3	20
58	4	RUNA	8.05	6	3	395	29	117	8	20
59	4	MANGUAL	8.05	4.9	3.5	207	13	80	7	20
60	4	SHAPA	8.24	5.2	4.5	212	19.5	91	10.5	13
61	4	SHAPA	8.25	4.4	5	214	16.5	89	5	20
62	4	OJE	8.27	4.7	3.5	269	23	122	7	20
63	4	SHAPA	8.27	3.5	3	197.4	12.05	91	4.5	20
64	4	RUNA	8.3	6	5.5	175	12.5	133	3	20
65	4	RUNA	8.33	5.9	3	277	17	104	4.8	17

66	4	RUNA	8.34	5.5	4	190	12.5	99	4	20
67	4	JERGON	8.41	5.9	2.5	214	13.5	197	3.5	19
68	4	LOMAS	8.56	3.7	3.5	227	12	49	3	18
69	4	RUNA	8.6	4.5	2	319	15.8	113	3.5	12
70	4	YAN	8.6	5.1	2	286	18	89	5	18
71	4	JERGON	8.62	4.8	2	229	18	74	4	20
72	4	MANGUAL	8.65	5	5	288	27	103	13	19
73	4	SHAPA	8.74	4.7	3.5	337	31.5	84	8	21
74	4	RUNA	8.75	5	2	232	16.5	136	2.2	14
75	4	SHAPA	8.77	4	2.5	285	16	125	3	23
76	4	JERGON	8.8	4.2	3	258	18	93	4.5	19
77	4	MANGUAL	8.8	4.4	5	331	22	95	9	21
78	5	SHAPA	9	5.7	4.5	290	18.4	128	4.5	22
79	5	YAN	9.03	2.66	4	245	10.5	98	6.6	16
80	5	MANGUAL	9.18	4.7	5.5	385	20.5	157	7.5	20
81	5	OJE	9.19	5.3	5	94	36	96	23	19
82	5	RUNA	9.2	5.7	3	443	30	85	2.8	20
83	5	RUNA	9.3	5.4	3.5	434	23	76	6.5	21
84	5	JERGON	9.3	4.6	5	355	24	71	9.5	20
85	5	MANGUAL	9.32	5.5	5	281	21	161	10	12
86	5	OJE	9.33	5.7	5	457	40	140	16	20
87	5	JERGON	9.34	5.4	4	320	23	99	7	17
88	5	JERGON	9.4	5.5	9	205	26.5	88	6	11
89	5	JERGON	9.43	5.5	3	261	22	67	6	16
90	5	OJE	9.46	4.9	5	264	25	85	11	18
91	5	JERGON	9.46	5.25	5.5	268	26	134	10	20
92	5	JERGON	9.46	4.2	4	316	23.5	192	7	16
93	5	JERGON	9.46	3.8	2.5	322	12	97	3.5	15
94	5	YAN	9.49	6.3	3	270	21	92	5	16
95	5	RUNA	9.51	6.4	4.5	340	17.5	117	5	17
96	5	OJE	9.55	4.5	4	252	15.5	106	4.5	14
97	5	OJE	9.73	5.5	6	216	21	137	8	14
98	5	OJE	9.78	5.4	5.5	411	35	92	12	17
99	5	RUNA	9.8	5.2	6	330	27	73	5	23
100	5	JERGON	9.8	4.55	2.5	403	20	67	4.5	18
101	5	MANGUAL	9.88	6.4	5	329	25	110	9	21
102	5	SHAPA	9.89	6.6	8.5	328	33	95	9	21
103	5	CUMALA	9.9	6.3	10.5	648	51	123	14.5	21
104	5	JERGON	9.92	5.1	4	363	26.5	70	7.5	21
105	5	CUMALA	9.96	6.35	9.5	240	29	110	15.5	19
106	5	RUNA	10	5.7	3.5	366.5	16	102	2.2	15
107	5	RUNA	10.1	6.3	7	575	36	156	10.5	21
108	5	MANGUAL	10.13	5	5	341	24	73	9	22
109	5	JERGON	10.2	5.8	5.5	342	35.5	103	11	19
110	5	ISULA	10.2	4.4	3.5	555	34	152	7.5	15
111	5	RUNA	10.21	5.3	5	424	31	65	6.5	18
112	5	OJE	10.41	4.6	5	281	21	122	14	14
113	5	CUMALA	10.5	6	4	623	50	188	14	27
114	5	OJE	10.58	4	3	406	29	128	14	16
115	5	MANGUAL	10.66	4.2	5.5	372	40	82	15	8
116	5	RUNA	10.69	4.4	4.4	516	37	110	7	18
117	5	CUMALA	10.72	6	4	362	30	178	9.4	16

118	5	MANGUAL	10.78	5.5	7.5	315	22	138	10.5	15
119	5	ISULA	10.85	3.5	7	381	31	129	12	19
120	6	YAN	10.97	4.6	7.5	316	30	71	9	20
121	6	YAN	11.1	6.35	2.5	444	27	104	2	21
122	6	CUMALA	11.18	6.8	10	571	45	176	14	17
123	6	SHAPA	11.19	5.5	7	300	24	94	7	21
124	6	YAN	11.24	6.05	5.5	546	50	141	10	24
125	6	CUMALA	11.29	7.7	12	489	57	138	17	21
126	6	YAN	11.31	7.57	7.5	380	29	136	7.5	18
127	6	MANGUAL	11.35	5	5	425	39	126	10	11
128	6	YAN	11.4	7.23	6	460	35	95	5.6	20
129	6	YAN	11.41	5.5	11	388	34	113	8	21
130	6	ISULA	11.46	5.5	3	512	40	79	7.5	23
131	6	YAN	11.48	5.7	7.5	566	34	131	7	20
132	6	CUMALA	11.51	6.4	14	360	29	83	13	19
133	6	CUMALA	12	5.5	10	431	35	166	12.7	15
134	6	YAN	12.11	6.5	4.5	576	55	56	13.5	17
135	6	SHAPA	12.59	6	3.5	612	53.5	288	12	19
136	7	ISULA	13.06	4.3	3	620	15	92	41	29
137	7	ISULA	13.17	4.8	12.5	556	32.7	136	9.5	17
138	7	ISULA	13.25	5.25	3.5	802	36.5	87	8	26
139	7	CUMALA	13.33	6.5	6	769	65	123	9.5	10
140	7	YAN	13.44	5	5	760	33.5	90	4.5	16
141	7	YAN	13.77	6.7	17	495	44.5	89	12.5	20
142	8	CUMALA	15	7	6.5	1021	67	167	30	17
143	8	SHAPA	15.06	6.55	28.5	402	41	125	16	20
144	8	SHAPA	15.35	6.5	12	879	60.5	108	7.4	26

Fuente: Propia

Para la elección del modelo alométrico se evaluaron 2 variables principales y sus derivaciones: diámetro altura de la base o cuello (DAC) y altura total (Ht), a estas 2 variables se les calculo la estadística descriptiva básica (media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación, max y min) de los 144 árboles. Como se muestra en el cuadro 13, se obtiene que el promedio de diámetro DAC de las muestras es de 8.7cm con un coeficiente de variación de 28.5% y el promedio de altura total es de 4.7 m con un coeficiente de variación de 27.6%.

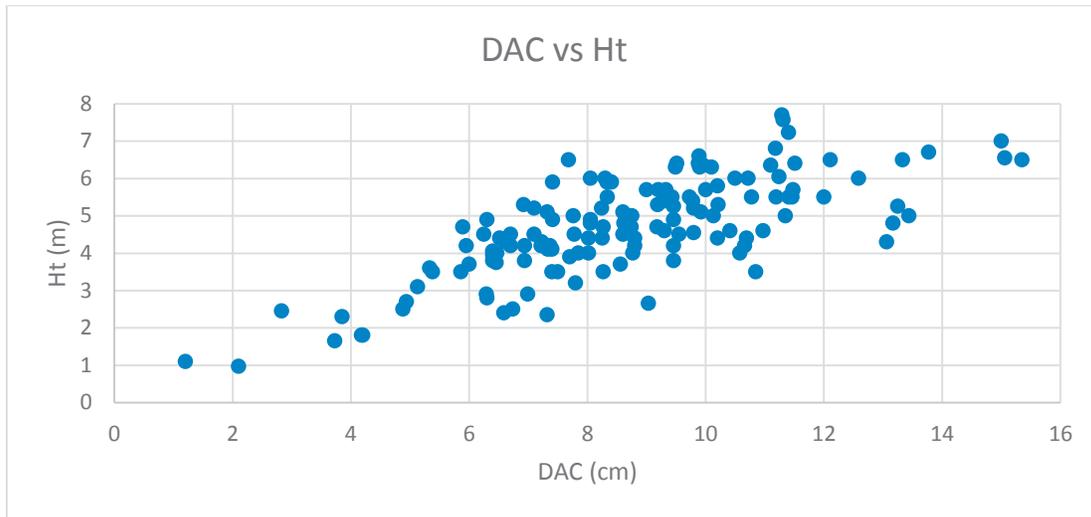
Cuadro 13: Estadísticas descriptivas de las variables consideradas en la medición de árboles individuales de la especie *Inga edulis*

Variables	DAC (cm)	Ht (m)
Valor Máximo	15.35	7.7
Valor Mínimo	1.2	0.97
Promedio	8.7	4.7
Desv. St.	2.482	1.301
Coef. Variabilidad (%)	28.5%	27.6%

Fuente: Propia

Se puede apreciar en el Cuadro 14 la relación proporcional entre los valores de diámetro - DAC (cm) y la altura total del árbol - Ht (m), donde la nube de datos indica que la plantación se encuentra en las primeras etapas de crecimiento, ya que se observa que a mayor DAC, mayor altura, lo cual es típico de poblaciones jóvenes.

Cuadro 14: Relación DAC vs Ht de 144 árboles muestra de la especie *Inga edulis*.



Fuente: Propia

### 5.3 TRANSPORTE

El transporte interno se realizó sin inconvenientes, se cumplió el procedimiento de traslado de las muestras: del bosque hacia el punto de acopio y luego a los vehículos de la empresa BAM que las trasladaron hacia el laboratorio de propiedades físico-mecánicas de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU). Llegar a Pucallpa, tomó 1.5 horas, las muestras fueron sacadas de las bolsas de papel y puestas en una mesa del laboratorio, se verificó que no fueron mojadas por la lluvia, no fueron afectadas por los hongos y no se perdieron paquetes.

### 5.4 TRABAJO DE LABORATORIO

#### 5.4.1 Secado de muestras y Determinación de la biomasa seca de cada componente

Las muestras fueron secadas en el horno de secado del Laboratorio de Propiedades Físico-Mecánicas de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), hasta llegar a un peso constante y finalmente registrar el peso seco o biomasa seca de las muestras.

A partir de los pesos secos de las muestras, se utilizó la ecuación general detallada en la metodología para la obtención de la biomasa seca de cada componente y luego se obtuvo la biomasa seca total del árbol. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 15: Datos biomasa seca de componentes de muestra de 144 árboles de la especie *Inga edulis*

N° Individuo	Código Categ. Diam.	Código UMF	DAC (cm)	Altura Total (m)	Peso S. Fuste (Kg)	Peso S. Ramas (Kg)	Peso S. Hojas (Kg)	Peso Total (Kg)
1	1	VENADO	1.2	1.1	0.16	0.09	0.12	0.37
2	1	VENADO	2.1	0.97	0.25	0.29	0.64	1.19
3	1	LOMAS	2.83	2.45	0.50	0.17	0.08	0.75
4	2	LAGARTO	3.73	1.65	0.30	0.50	0.34	1.14
5	2	LAGARTO	3.85	2.3	1.14	1.20	1.12	3.46
6	2	LAGARTO	4.18	1.8	0.27	0.43	0.18	0.88
7	2	LAGARTO	4.2	1.8	0.07	0.89	0.18	1.15
8	2	ISULA	4.88	2.5	1.26	2.43	0.54	4.23
9	3	LOMAS	4.94	2.7	0.78	0.96	0.11	1.86
10	3	LOMAS	5.13	3.1	0.47	0.66	0.53	1.65
11	3	SHAPA	5.33	3.6	1.07	2.70	1.05	4.82
12	3	LOMAS	5.38	3.5	0.75	2.63	0.34	3.72
13	3	SHAPA	5.86	3.5	1.27	4.71	2.22	8.20
14	3	SHAPA	5.89	4.7	1.36	6.28	1.13	8.78
15	3	SHAPA	5.95	4.2	0.78	4.65	1.15	6.58
16	3	OJE	6	3.7	0.88	3.04	2.13	6.06
17	3	JERGON	6.25	4.5	0.99	3.36	0.67	5.02
18	3	OJE	6.29	2.9	1.07	1.52	0.48	3.07
19	3	OJE	6.3	2.8	0.70	1.49	0.09	2.28
20	3	OJE	6.3	4.9	0.90	3.97	1.05	5.92
21	3	OJE	6.4	3.8	1.09	3.59	2.24	6.92
22	3	RUNA	6.4	3.95	0.80	3.83	1.00	5.63
23	3	RUNA	6.4	4.05	1.09	0.73	0.54	2.36
24	3	JERGON	6.46	3.75	1.04	2.21	1.37	4.62
25	3	RUNA	6.47	4	1.10	4.40	3.46	8.97
26	3	JERGON	6.52	4.4	1.62	5.72	2.86	10.20
27	3	RUNA	6.59	2.4	0.60	1.70	1.03	3.33
28	3	RUNA	6.62	4.3	1.85	3.84	0.54	6.22
29	3	RUNA	6.7	4.5	1.05	3.34	1.40	5.79
30	3	JERGON	6.7	4.2	2.93	3.48	2.14	8.55
31	3	RUNA	6.74	2.5	1.10	2.60	1.33	5.04
32	4	MANGUAL	6.92	5.3	1.65	5.04	2.27	8.95
33	4	OJE	6.94	3.8	1.68	6.48	1.70	9.85
34	4	MANGUAL	6.94	4.2	0.78	7.35	1.19	9.32
35	4	MANGUAL	6.99	2.9	1.58	5.79	1.10	8.47
36	4	OJE	7.1	5.2	1.51	10.97	2.75	15.23
37	4	LAGARTO	7.1	4.5	2.49	8.36	2.33	13.18
38	4	MANGUAL	7.22	4.2	1.00	3.98	0.82	5.80
39	4	LAGARTO	7.23	4.3	1.17	3.32	1.05	5.54
40	4	LAGARTO	7.32	2.35	1.11	3.39	0.37	4.88
41	4	JERGON	7.32	5.1	2.24	3.38	0.72	6.33
42	4	OJE	7.33	4.1	1.02	3.19	0.95	5.16
43	4	JERGON	7.37	4.2	1.31	5.60	1.58	8.49
44	4	OJE	7.4	3.5	1.02	2.92	0.33	4.27
45	4	MANGUAL	7.4	4.1	0.92	5.18	2.01	8.11
46	4	MANGUAL	7.41	4.9	2.99	8.55	2.17	13.72

47	4	YAN	7.41	5.9	1.11	7.78	2.76	11.65
48	4	YAN	7.5	3.5	1.65	4.26	0.57	6.48
49	4	MANGUAL	7.68	6.5	2.04	5.89	1.95	9.89
50	4	YAN	7.7	3.9	1.06	4.84	2.17	8.07
51	4	OJE	7.76	5	3.01	3.59	1.02	7.63
52	4	SHAPA	7.78	4.5	1.02	7.66	4.51	13.20
53	4	OJE	7.8	3.2	1.44	7.21	2.23	10.87
54	4	OJE	7.85	4	1.38	4.63	2.80	8.81
55	4	LAGARTO	8.02	4.4	0.97	5.12	1.01	7.10
56	4	LAGARTO	8.02	4	0.70	8.78	1.51	10.98
57	4	RUNA	8.05	4.8	0.79	3.78	1.16	5.73
58	4	RUNA	8.05	6	1.08	10.49	2.91	14.48
59	4	SHAPA	8.05	4.9	1.87	6.06	1.96	9.89
60	4	SHAPA	8.24	5.2	2.45	7.35	4.88	14.68
61	4	SHAPA	8.25	4.4	2.89	8.58	1.29	12.76
62	4	RUNA	8.27	4.7	1.56	8.81	2.62	12.98
63	4	SHAPA	8.27	3.5	1.71	6.49	0.89	9.09
64	4	RUNA	8.3	6	2.53	5.47	0.90	8.90
65	4	RUNA	8.33	5.9	1.28	7.00	2.20	10.48
66	4	RUNA	8.34	5.5	1.79	4.63	1.46	7.87
67	4	LOMAS	8.41	5.9	1.21	6.09	1.58	8.88
68	4	JERGON	8.56	3.7	1.84	5.56	1.13	8.53
69	4	RUNA	8.6	4.5	0.93	6.75	1.69	9.37
70	4	JERGON	8.6	5.1	0.95	7.26	1.92	10.13
71	4	JERGON	8.62	4.8	0.97	6.91	1.66	9.54
72	4	JERGON	8.65	5	2.64	12.29	5.21	20.15
73	4	YAN	8.74	4.7	1.72	12.86	2.70	17.28
74	4	OJE	8.75	5	0.88	5.91	1.18	7.97
75	4	MANGUAL	8.77	4	1.36	8.52	1.23	11.11
76	4	MANGUAL	8.8	4.2	1.45	8.01	1.61	11.07
77	4	MANGUAL	8.8	4.4	2.69	10.12	3.21	16.03
78	5	LOMAS	9	5.7	2.17	8.42	1.62	12.21
79	5	LOMAS	9.03	2.66	2.09	4.66	3.22	9.97
80	5	JERGON	9.18	4.7	2.51	9.81	2.93	15.24
81	5	OJE	9.19	5.3	2.19	15.24	11.86	29.29
82	5	OJE	9.2	5.7	1.39	14.22	0.76	16.38
83	5	OJE	9.3	5.4	1.27	12.63	2.29	16.18
84	5	YAN	9.3	4.6	2.44	9.30	3.61	15.34
85	5	JERGON	9.32	5.5	2.56	9.96	5.92	18.43
86	5	OJE	9.33	5.7	2.13	19.13	4.48	25.74
87	5	JERGON	9.34	5.4	2.00	8.08	2.92	13.00
88	5	JERGON	9.4	5.5	2.47	9.18	4.25	15.91
89	5	JERGON	9.43	5.5	1.48	10.70	2.36	14.55
90	5	RUNA	9.46	4.9	2.03	8.35	5.44	15.82
91	5	JERGON	9.46	5.25	2.73	12.55	4.40	19.69
92	5	MANGUAL	9.46	4.2	1.95	11.37	3.63	16.96
93	5	MANGUAL	9.46	3.8	1.18	4.70	1.91	7.80
94	5	MANGUAL	9.49	6.3	1.46	8.33	2.50	12.29
95	5	OJE	9.51	6.4	1.70	5.78	2.06	9.53
96	5	RUNA	9.55	4.5	1.88	6.93	2.54	11.34
97	5	RUNA	9.73	5.5	2.75	9.74	5.77	18.27
98	5	RUNA	9.78	5.4	2.41	14.10	5.58	22.08

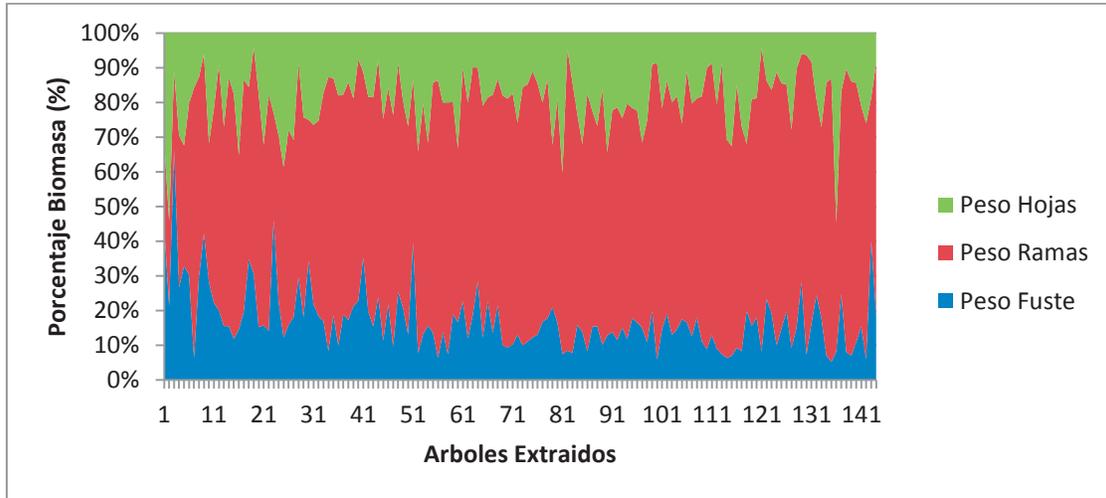
99	5	RUNA	9.8	5.2	3.03	10.86	1.39	15.28
100	5	YAN	9.8	4.55	1.25	18.03	1.80	21.08
101	5	SHAPA	9.88	6.4	2.50	10.82	3.69	17.01
102	5	SHAPA	9.89	6.6	4.35	15.25	3.13	22.73
103	5	CUMALA	9.9	6.3	4.30	22.12	6.63	33.05
104	5	SHAPA	9.92	5.1	1.95	8.97	2.43	13.36
105	5	CUMALA	9.96	6.35	3.88	12.49	5.79	22.16
106	5	RUNA	10	5.7	1.50	6.54	1.00	9.04
107	5	RUNA	10.1	6.3	2.48	13.14	4.00	19.62
108	5	YAN	10.13	5	2.58	9.07	2.70	14.35
109	5	YAN	10.2	5.8	2.66	16.75	4.34	23.75
110	5	YAN	10.2	4.4	1.91	17.49	2.20	21.60
111	5	RUNA	10.21	5.3	2.43	14.72	1.63	18.78
112	5	RUNA	10.41	4.6	2.18	16.94	5.00	24.12
113	5	RUNA	10.5	6	1.92	21.53	2.28	25.73
114	5	RUNA	10.58	4	1.19	11.67	5.69	18.54
115	5	SHAPA	10.66	4.2	3.40	29.56	15.94	48.90
116	5	CUMALA	10.69	4.4	2.14	17.34	3.46	22.94
117	5	CUMALA	10.72	6	1.71	13.31	5.52	20.54
118	5	JERGON	10.78	5.5	3.89	9.34	6.23	19.46
119	5	YAN	10.85	3.5	3.77	15.72	4.61	24.09
120	6	YAN	10.97	4.6	3.84	13.48	4.01	21.32
121	6	JERGON	11.1	6.35	1.32	14.12	0.69	16.13
122	6	CUMALA	11.18	6.8	7.84	21.03	4.61	33.49
123	6	JERGON	11.19	5.5	3.46	11.64	2.97	18.07
124	6	YAN	11.24	6.05	2.92	23.05	3.29	29.26
125	6	CUMALA	11.29	7.7	5.24	24.82	5.10	35.16
126	6	MANGUAL	11.31	7.57	4.19	13.80	3.13	21.11
127	6	MANGUAL	11.35	5	2.50	17.02	7.55	27.07
128	6	JERGON	11.4	7.23	2.99	14.92	2.13	20.05
129	6	MANGUAL	11.41	5.5	5.47	12.73	1.18	19.38
130	6	ISULA	11.46	5.5	1.58	18.75	1.37	21.70
131	6	MANGUAL	11.48	5.7	3.75	17.44	1.93	23.12
132	6	CUMALA	11.51	6.4	6.71	15.46	5.20	27.38
133	6	CUMALA	12	5.5	4.06	12.52	6.18	22.76
134	6	ISULA	12.11	6.5	2.30	25.24	4.61	32.15
135	6	MANGUAL	12.59	6	1.77	27.96	4.48	34.22
136	7	ISULA	13.06	4.3	1.56	6.96	10.32	18.84
137	7	ISULA	13.17	4.8	7.16	16.93	4.86	28.94
138	7	ISULA	13.25	5.25	1.74	17.45	2.22	21.41
139	7	CUMALA	13.33	6.5	2.78	31.25	5.51	39.54
140	7	ISULA	13.44	5	2.40	16.34	3.15	21.89
141	7	YAN	13.77	6.7	4.67	19.20	6.38	30.25
142	8	CUMALA	15	7	2.82	32.22	12.35	47.39
143	8	SHAPA	15.06	6.55	15.03	15.25	6.96	37.24
144	8	SHAPA	15.35	6.5	5.89	22.52	2.68	31.08

*Fuente: Propia*

En el cuadro 16 se observa el porcentaje que representa cada componente frente al peso total, el componente que tiene una mayor presencia en la biomasa total de las 144 muestras de árboles, es las

ramas con un 66% del peso total, por otro lado las hojas representan un 19.2% del total del peso de las muestras y los tallos solo representan un 14.6%, esto debido a la característica típica de la especie.

Cuadro 16: Porcentaje de biomasa por componente para los 144 de la especie *Inga edulis*



Fuente: Propia

Igualmente se obtuvo la estadística descriptiva básica para los pesos secos o biomasa seca de cada componente (Fuste, ramas y hojas) de los 144 árboles, como se muestra en el cuadro 15. Se puede observar un peso promedio mayor en las ramas, esto debido a que la especie Guaba son arboles muy ramificados desde la base, por lo cual el peso de las ramas es mayor, inclusive en este caso el peso de las hojas es ligeramente mayor o muy similar que el peso del fuste.

Cuadro 17: Estadísticas descriptivas de los pesos secos, resultado de evaluación destructiva de árboles de la especie *Inga edulis*

Variables	DAC (cm)	P. seco (Fuste)	P. seco (Ramas)	P. seco (Hojas)	P. seco (Total)
Valor Máximo	15.35	15.03	32.22	15.94	48.9
Valor Mínimo	1.2	0.07	0.09	0.08	0.37
Promedio	8.7	2.10	9.49	2.78	14.37
Desv. St.	2.482	1.72	6.81	2.43	9.62

Fuente: Propia

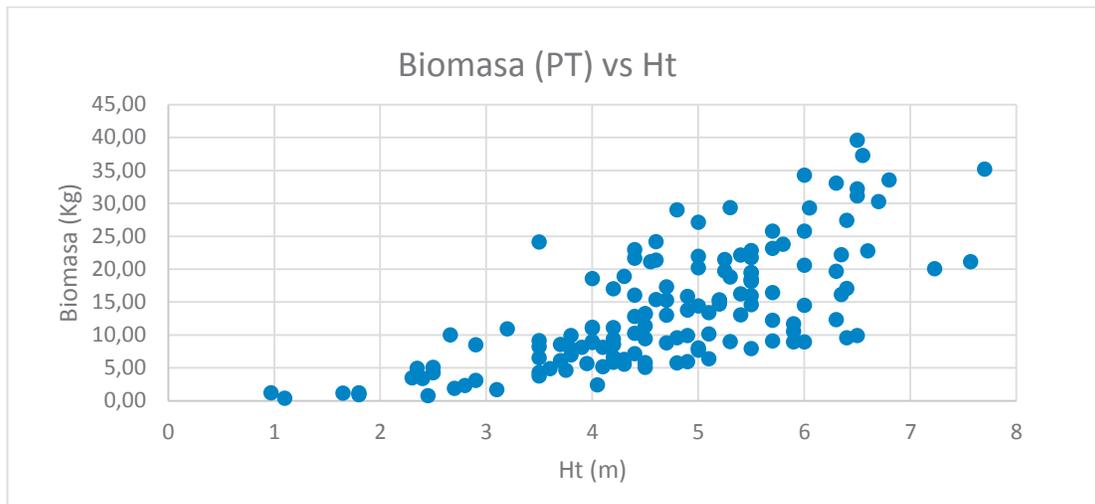
## 5.5 TRABAJO DE GABINETE

### 5.5.1 Análisis estadístico y generación de Ecuaciones de regresión

Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS versión 19.0. y se graficó con el programa Excel la relación entre las variables y el peso seco total o biomasa total del árbol.

Como se puede observar en el cuadro 18, la relación entre las alturas totales y la biomasa total de las muestras no tienen una tendencia o relación definida.

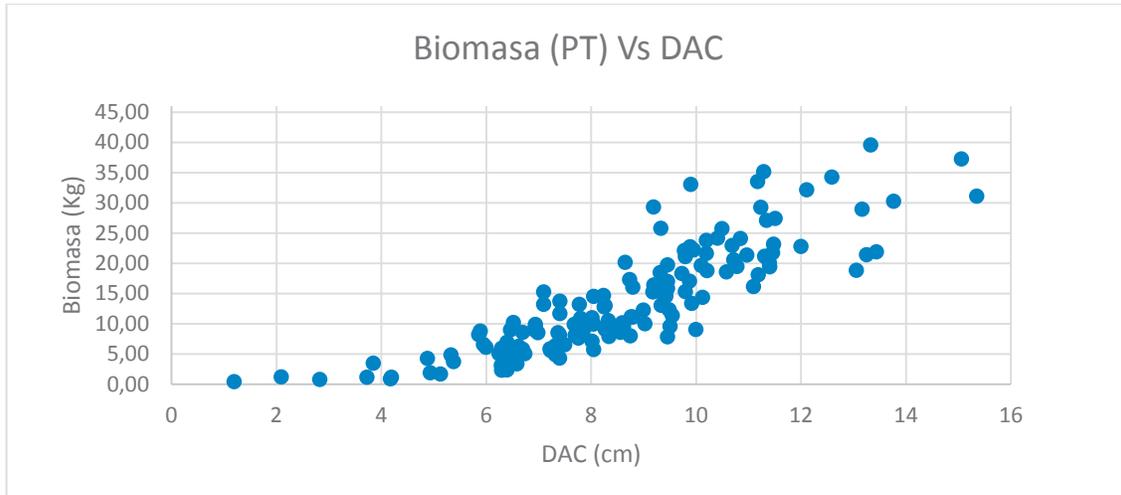
Cuadro 18: Cuadro de dispersión de variables (Ht y biomasa) de la especie *Inga edulis*



*Fuente: Propia*

Por otro lado, al observar el cuadro 19, en la relación entre el DAC y la biomasa (PT) de las muestras si se aprecia una tendencia definida, se puede ver que existe una relación entre las variables DAC y Biomasa (Pt). Esto nos da una idea que las posibles ecuaciones que más representen la Biomasa (PT) serían las ecuaciones que contengan la variable DAC.

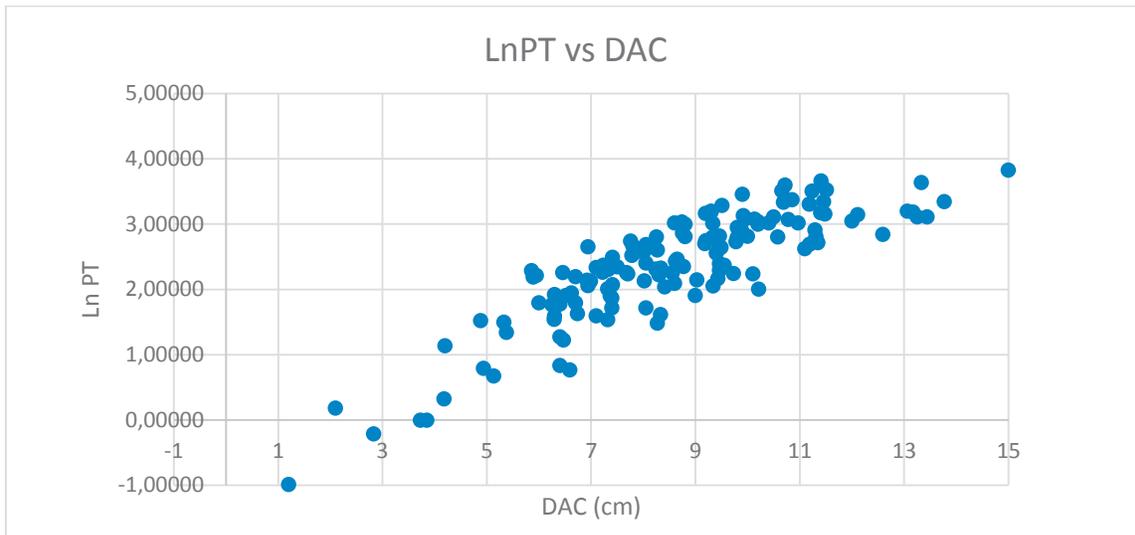
Cuadro 19: Cuadro de dispersión de variables (DAC y Biomasa) de la especie *Inga edulis*



*Fuente: Propia*

Además en el cuadro anterior se observa una tendencia logarítmica; al realizar un gráfico de dispersión entre LnPT vs DAC (cuadro 20) se aprecia un ajuste logarítmico típico, ambos cuadros 19 y 20 tienen un  $R^2$  igual ya que son inversamente proporcionales, una ecuación exponencial (PT) es la inversa de una ecuación logarítmica (LnPT).

Cuadro 20: Cuadro de dispersión de variables (DAC y LnBiomasa) de la especie *Inga edulis*



*Fuente: Propia*

Luego con el software SPSS versión 19.0, se probaron las 9 ecuaciones o modelos alométricos seleccionados para las pruebas estadísticas.

A partir de las pruebas estadísticas realizadas, se seleccionó un primer grupo de ecuaciones que tienen un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mayor o igual a 0.8, luego un segundo filtro donde las ecuaciones a ser aceptadas tengan un “F” calculado mayor al “F” tabular y donde se aprecie una significancia aceptable de la ecuación ( $P \leq 0.005$ ), luego que tenga un “t” calculado mayor al “t” tabular y donde se aprecie una significancia aceptable de las variables ( $P \leq 0.05$ ) (cuadro 21), teniendo como resultado 4 ecuaciones seleccionadas.

Cuadro 21: Resultados de prueba estadística en el programa SPSS V19 de los Modelos de ecuaciones alométricas

#	Autor	Ecuación	$R^2$	Prueba F y Significancia Ecuación ( $P < 0.005$ )	Prueba t y Significancia variables ( $P < 0.05$ )	Selección
1	Naslund	$PT = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2(d^2h) + \beta_3(dh^2) + \beta_4h^2$	0.779	CUMPLE	NO CUMPLE	RECHAZADA
2	Schumacher-Hall	$LnPT = \beta_0 + \beta_1 Lnd + \beta_2 Lnh$	0.840	CUMPLE	CUMPLE	ACEPTADA
3	Husch	$LnPT = \beta_0 + \beta_1 Lnd$	0.822	CUMPLE	CUMPLE	ACEPTADA
4	Meyer	$PT = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 d^2 + \beta_4 (d^2h) + \beta_5 (dh)$	0.781	CUMPLE	NO CUMPLE	RECHAZADA
5	Stoate	$PT = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 d^2 + \beta_3 (d^2h)$	0.773	CUMPLE	NO CUMPLE	RECHAZADA
6	Spurr	$LnPT = \beta_0 + \beta_1 Ln (d^2h)$	0.837	CUMPLE	CUMPLE	ACEPTADA
7	Adler	$PT = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	0.755	CUMPLE	NO CUMPLE	RECHAZADA
8	Adler	$PT = \beta_0 + \beta_1 d^2$	0.752	CUMPLE	NO CUMPLE	RECHAZADA
9	Araujo, (Globalallometree.com)	$LnPT = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^3 + Lnd$	0.842	CUMPLE	CUMPLE	ACEPTADA

Fuente: Propia

Con el grupo ecuaciones que pasaron estos 2 filtros se determinó el Cuadrado medio del error (CME), donde se busca que sea el menor valor posible y finalmente se aplica la prueba “IF: Índice de Furnival” para determinar la mejor ecuación, la cual tiene un IF más cercano a cero.

Cuadro 22: Resultados de prueba estadística en el programa SPSS V19 de los Modelos de ecuaciones alométricas

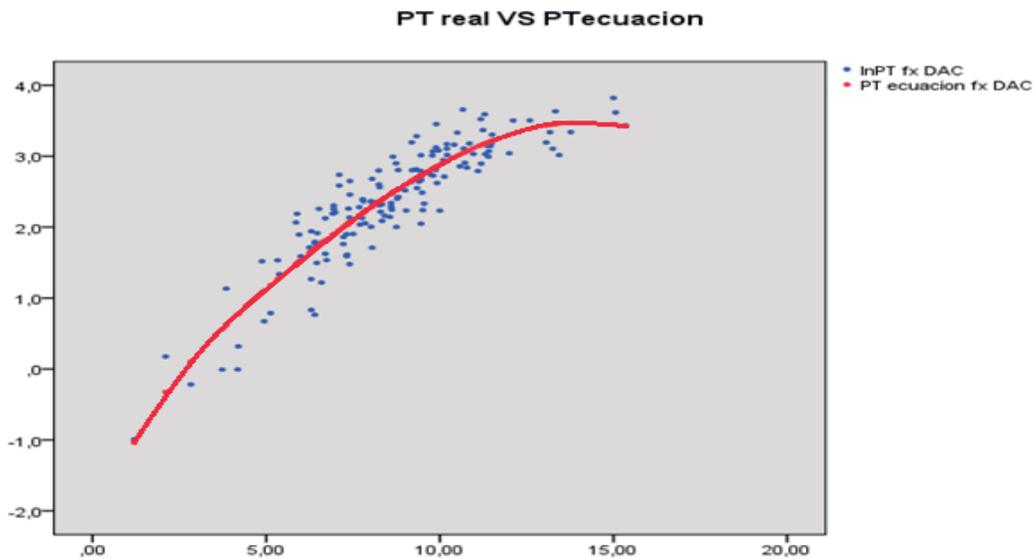
#	Autor	Ecuación	CME	IF	Selección
1	Schumacher-Hall	$\text{LnPT} = \beta_0 + \beta_1 \text{Lnd} + \beta_2 \text{Lnh}$	0.116	3.68	
2	Husch	$\text{LnPT} = \beta_0 + \beta_1 \text{Lnd}$	0.128	3.86	
3	Spurr	$\text{LnPT} = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d^{2h})$	0.117	3.69	
4	Araujo, (Globalallometrie.com)	$\text{LnPT} = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^3 + \text{Lnd}$	0.115	3.67	ACEPTADA

Fuente: Propia

La ecuación más Representativa para la especie *Inga edulis* fue:  $\text{LnPT} = \beta_0 + \beta_1 \text{DAC}^2 + \beta_2 \text{DAC}^3 + \text{LnDAC}$ , para individuos mayores a 2.12 cm de DAC, resultando en  $\text{LnPT} = -1.289 + 0.032 \text{DAC}^2 - 0.002 \text{DAC}^3 + 1.131 \text{LnDAC}$ .

Con los datos de la ecuación seleccionada, se graficaron las Variables LnPT real y LnPT estimado por medio del programa SPSS V.19.

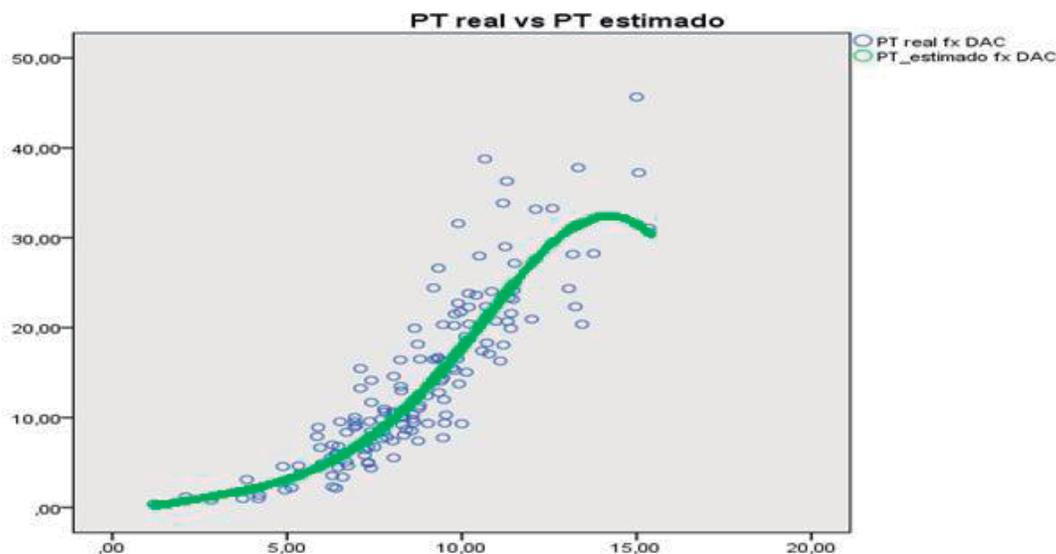
Cuadro 23: Variables LnPT real y LnPT estimado en función del DAC de la muestra de 144 árboles de la especie *Inga edulis*.



Fuente: Propia

También se graficó la inversa de la ecuación logarítmica el cual brindaría los valores sin transformar de PT, siendo los valores: PT real y Pt estimado por la ecuación en función del DAC.

Cuadro 24: Variables PT real y PT estimado en función del DAC de la muestra de 144 árboles de la especie *Inga edulis*.



Fuente: Propia

### 5.5.2 Cálculo de cantidad de Biomasa aérea y cantidad de carbono

La estimación de la biomasa total de árboles individuales fue obtenida a través de la ecuación  $\text{LnPT} = -1.289 + 0.032 \text{ DAC}^2 - 0.002 \text{ DAC}^3 + 1.131 \text{ LnDAC}$ , la cual se transformó a **PT estimado (Kg) = EXP (LnPT)**.

Luego se transformó de (Kg) a (t) de biomasa aérea y luego de (t) de biomasa aérea a (tC) de carbono mediante el factor (0,5) del IPCC. Por una regla de tres simple se obtuvo el promedio de toneladas de biomasa y toneladas de carbono por hectárea.

Luego este se aplicó a la cantidad de hectáreas a ser consideradas VCS (Voluntary Carbon Standard) de cada estrato del proyecto. Resultando la cantidad de biomasa aérea de la plantación y la cantidad de carbono de la plantación, la cual para fines de venta en el mercado de carbono se transforma en (tCO<sub>2</sub>e) mediante el factor 44/11.

El cuadro 25 muestra el contenido de biomasa aérea según el estrato de la plantación y el total expresado en t de C y t CO<sub>2</sub>-e

Cuadro 25: cantidad de carbono en la biomasa aérea de la especie *Inga edulis*.

<b>Estrato</b>	<b>ha (solo VCS)</b>	<b>Total de (t) Biomasa Aérea por estrato</b>	<b>Total de (t) C por estrato</b>
estrato 1	156.28	1,956.41	978.20
estrato 2	91.97	1,086.90	543.45
estrato 3	Conservación	No guaba	No guaba
estrato 4	otros	No guaba	No guaba
estrato 5	otros	No guaba	No guaba
estrato 6	279.97	2,506.23	1 253.12
estrato 7	63.95	628.26	314.13
estrato 8	5.71	2.41	1.20
<b>TOTAL (t)</b>		<b>6 180.21</b>	<b>3 090.10</b>
<b>TOTAL DE CO<sub>2</sub>-e (t)</b>			<b>11 330.38</b>

Fuente: Propia

## 5.6 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### 5.6.1 Ecuación alométrica y servicios ambientales

- Frecuentemente, los modelos alométricos existentes en la literatura están únicamente en función de la variable (DAC o DAP). Para brindar una facilidad de obtención de variables en campo en futuros inventarios.
- La biomasa y el carbono presentan un incremento gradual con el diámetro de los árboles.
- Carbono orgánico en el suelo, aun no se valora económicamente (en sistemas tropicales). Es importante valorizar el aporte de los suelos como prestador de servicios ambientales ya que finalmente toda la biomasa retorna al suelo y se almacena ahí; actualmente se valoriza los flujos de carbono, más no el stock de carbono almacenado (a excepción de proyectos de conservación REDD, que las negociaciones de COP aún no han definido su validez), además en sistemas tropicales, la mayor parte de carbono se encuentra en los árboles, mientras que en sistema de montaña (sierra) la mayor cantidad de carbono se almacena en el suelo.
- Los servicios ambientales que genera la plantación podrían ser contabilizados directamente como CO<sub>2</sub>e para generar reducción de emisiones. Sin embargo se lograría proveer de más servicios ecosistémicos como: la restauración y regeneración de áreas degradadas, controlar la erosión, regular los flujos de agua, recursos genéticos, producción forestal, atractivo turístico.

### 5.6.2 Valoración económica

La cantidad potencial de CO<sub>2</sub>-e a ser comercializado proveniente de la plantación de Guaba al año de verificación (2011), la cual fue sometida a una auditoría externa realizada por la empresa TUV SUD, se certificó 11 330.38 toneladas de CO<sub>2</sub>-e. La empresa fijó el precio de la tCO<sub>2</sub>e para venta a compradores europeos un rango de 6 a 8.5 \$/tCO<sub>2</sub>-e en el 2011. Con lo cual se realizó una transacción de derechos de emisión de bonos de carbono por una cantidad aproximada de:

<b>TOTAL DE CO<sub>2</sub>-e (t)</b>	<b>11 330.38</b>
<b>TOTAL Rango de TRANSACCION (\$)</b>	<b>Entre \$67 982.28 y \$96 308.25</b>

## 6 CONCLUSIONES

- Se logró generar información técnico-científica sobre las reservas de carbono de la plantación de *Inga edulis*; que servirá como base para la elaboración de potenciales proyectos de valoración de servicios ambientales
- La ecuación que mejor estimó la biomasa total de árboles individuales fue  $\text{LnPT} = -1.289 + 0.032 \text{ DAC}^2 - 0.002 \text{ DAC}^3 + 1.131 \text{ LnDAC}$ .
- Los resultados del estudio indican que al año 2010 la biomasa aérea total fue de **6 180.21 toneladas** para la plantación de *Inga edulis* del proyecto VCS-Campo Verde.
- La cantidad de **CO<sub>2</sub>-e** almacenado al año 2010 en la plantación de *Inga edulis*, del proyecto VCS-Campo Verde fue de **11 330.38 tCO<sub>2</sub>-e**.
- La variable que más se correlaciona con la biomasa aérea de la plantación de *Inga edulis* es (**DAC**), que a su vez fue la variable más fácil de medir en campo.

## 7 RECOMENDACIONES

- Los modelos alométricos son una herramienta de gran utilidad para la estimación de la biomasa de árboles individuales. Por esta razón se recomienda utilizar los modelos y las ecuaciones alométricas en las diferentes especies encontradas en los sistemas forestales, para así tener resultados más precisos.
- Se recomienda que la evaluación del flujo de carbono se realice en diferentes momentos en la vida productiva y en épocas donde el clima es favorable, para evitar retrasos y daños a las muestras.
- Las muestras de material vegetal no deben ser almacenadas mucho tiempo para evitar que estas sean contaminadas por hongos, lo cual dificulta la determinación de su contenido de humedad.
- Es importante valorizar el aporte de los suelos como prestador de servicios ambientales, se recomienda realizar mayores estudios sobre almacenamiento de carbono en suelos en diferentes regiones del país los cuales sirvan como referencia para inventarios nacionales de carbono.
- Es necesario un fortalecimiento técnico de profesionales relacionados al sector forestal para la formulación de este tipo de proyectos, además de buscar nuevos mercados que valoricen los servicios hídricos y ecológicos del bosque.
- Todas las actividades destinadas a la mitigación de Gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera deberían cumplir ciertas condiciones básicas, tales como ser ecológicamente sostenible; económicamente factible; fácilmente reproducible y socialmente aceptable.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALEGRE, J., ARÉVALO, L., RICSE, A., CALLO-CONCHA, D., PALM, C. 2001. Carbon sequestration for different land use systems in the humid tropics of Perú. Annual Meeting of American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Charlotte North Carolina October. 21p.

ALVAREZ, S. 2009. Optimización de la planificación forestal considerando la captura de carbón en bosque de Pino-Encino de la sierra de Juárez Oaxaca (México). Universidad Politécnica de Madrid.

ASB, 2005. Alternative to Slash and Burn in Perú. Summary report and synthesis of phase edited; Velarde S., Alegre J., Tomish T., ASB Programme, ICRAF.

ARAUJO, T., HIGUCHI, N., CARVALHO, J. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Para, Brazil. Forest Ecology and Management. Globalometree.com 117, 43p

ARCE SEVERO, R. 1987. "Estudio Dendrológico del genero Inga en selva central – Pasco - Perú".

ARÉVALO, CHERYL PALM Y ALEGRE, J. 2003. "Manual de Determinación de Carbono en los Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en el Perú". ICRAF, CODESU, INIA e INRENA.

ARES, A., BONICHE, J., QUESADA, J., YOST, R., MOLINA, E. 2002. Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrimentos y carbono en plantaciones de palmito en Costa Rica. Costa Rica. Agronomía costarricense 26(2): 19p

BARBARAN, J., RICSE, A., ALEGRE, J. 2001. Cuantificación de Biomasa y Carbono en principales Sistema de Uso de Suelo en Campo Verde. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Ucayali, Perú. 2p

BRAKO, L. y ZARUCHI, J. 1993. Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas de Perú. Missouri Botanical Garden. St. Louis, Missouri, EE.UU. 1286p.

BROWN, S., GILLESPE A. y LUGO, A. 1989. Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. Forest Science 35(4): 881p.

BURGA, G. 2010. Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de Combinaciones Agroforestales de Theobroma cacao L. Departamento de San Martin. Tesis de Ing. Ambiental UNALM.

- CALLO CONCHA, D. 2000. Evaluaciones en Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en Pucallpa. México.
- CERO CO<sub>2</sub>, 2008. Los mercados voluntarios de carbono, una herramienta contra el Cambio Climático y por el desarrollo de las comunidades locales. En: Encuentro de Analistas INET 2008: Cambio Climático, Políticas de tratamiento efectivo. Córdoba, AR.
- CONCHA, J. 2006. Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea en Sistemas Agroforestales de *Theobroma cacao* L. Departamento de San Martín. Tesis de Grado
- CONAM (Consejo Nacional del Ambiente), 2001 a. Primera Comunicación Nacional del Perú para la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Lima, 118p.
- CASTRO, R., CORDERO, S. y ACEVEDO, C. 2002. Casos latinoamericanos de cambio climático y desarrollo. San José: Copieco de San Pedro 320. 63p.
- CARRERAS, J., ALADRO, A., MARTÍN, L., ROSEMBERG, A. 2007. Consecuencias del Cambio Climático: El contexto Andaluz. ES. 29p.
- CAPOOR, K., AMBROSSI, P. 2008. State and Trends of The Carbon Markets 2008. World Bank Institute. Washington Dc. 78p.
- CARAZO, A. 2006. Cifras básicas de la relación de Madera-Fijación de Carbono- CO<sub>2</sub> atmosférico. ES. 5p.
- CENTENO, J. 1992. EL efecto Invernadero. PLANIUC. 18/19: 75-96.\
- CIENCIA DE LA TIERRA WORDPRESS, 2009. Disponible en Página WEB:  
<http://cienciadelatierra.wordpress.com/2009/12/15/coop15-un-breve-resumen-de-la-situacion-actual-en-la-cumbre/>
- COP15, 2009. Copenhague, Disponible en Página WEB de UNFCCC:  
[http://unfccc.int/meetings/copenhagen\\_dec\\_2009/meeting/6295.php](http://unfccc.int/meetings/copenhagen_dec_2009/meeting/6295.php)
- DÁVALOS, R., SOTELO, E., MARTÍNEZ, M. 2008. Almacenamiento de Carbono. Instituto Nacional de Ecología. MX. 11 p.
- DUNCAN, J. 2005. Biomasa aérea en una plantación de *Austrocedrus chilensis* de 20 años ubicada en Valdivia. 4p.

ECHAGÜE, G. 2006. Cambio climático: Hacia un nuevo modelo energético. Colegio Oficial de Físicos. ES. 116 p.

ECOSYSTEM MARKET PLACE, 2010. Precios, demanda y actualidad. Disponible en:

<http://www.ecosystemmarketplace.com/>

ESTADO DEL MERCADO VOLUNTARIO DE CARBONO, 2012. State of the Voluntary carbon markets 2012.

[http://www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_3187.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_3187.pdf), [http://www.forest-trends.org/publication\\_details.php?publicationID=3164](http://www.forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=3164)

ESTADO DEL MERCADO VOLUNTARIO DE CARBONO, 2013. State of the Voluntary carbon markets 2012.

[http://www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_3187.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_3187.pdf),

FAO, 2001. Situación de los Bosques en el Mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO, 2002. Evaluación de los recursos forestales mundiales Informe Principal, Estudio FAO: Montes No. 140, Roma, Disponible en [www.fao.org/forestry/site/fra2000report/sp](http://www.fao.org/forestry/site/fra2000report/sp)

FAO, 2006. Los bosques y el cambio climático. Disponible en:

<http://www.fao.org/newsroom/es/focus/2006/1000247/index.html>

FAO, 2010. FRA 2010: "Trends in carbon stock in living forest biomass 1990-2010 for Perú" Disponible en:

<http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/>

FERRANDO, J., GOYA, J., BARRERA, M., YAPURA, P., FRANGI, J. 2001. Biomasa y productividad aérea de bosques de *Austrocedrus chilensis* en Río Negro, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía. 104(2): 139-149.

FINANZAS CARBONO, 2013. Plataforma sobre financiamiento de carbono para América Latina. Disponible en: <http://finanzascarbono.org/apuntes-de-doha-los-acuerdos-de-doha-y-el-mecanismo-para-un-desarrollo-limpio/>

GAYOSO, J., GUERRA, J., ALARCÓN D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, CL. 157 p.

GARCINUÑO, J. 1995. Biomasa aérea en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* (lab.) en la costa de Valdivia 10ma región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. De C. Forestales. 76 p.

GONZALEZ, 2008. Tesis de post grado: Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa*, *ochoterenai* y *Quercus sp.* En el norte del estado de Chiapas, México. 10 p.

GREENPEACE, 2006. Guía básica sobre Cambio Climático y Cooperación para el Desarrollo. (En línea). Consultado en Diciembre del 2008. Disponible en:  
<http://www.greenpeace.org/raw/content/espana/reports/gu-a-basica-sobrecambio-clima.pdf>

HOUGHTON, R.A. y WOODWELL, C.M. 1989. Global Climate Change. Scientific American 260(4): 36-40.

INEI, 2008. “Perú 2008 Indicadores ambientales – INEI”. Disponible en:  
<http://www.slideshare.net/PattyV/indicadores-amb-peru-2008>

INRENA, 1997. Estudio Nacional de la Diversidad Biológica: Diagnóstico Nacional. Dirección General de Áreas Naturales Protegidas y Fauna Silvestre. Volumen I. Lima, Perú. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente- PNUMA. 407 p.

IPCC, 2001a. Third Assessment Report. IPCC, UN. New York

IPCC, 2007. Climate Change 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC WG1 AR4 Final Report. 996 p.

IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2002. Carbon, Forest and People, Towards the integrated management of carbon sequestration, the environment and sustainable livelihoods. The World Conservation Union, 41 p.

JARAMILLO, V.J. 2004. El ciclo global del carbono. En: Martínez, J. & Fernández, A. (Comps.). Cambio Climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. México, D.F: 77-85.

- LAPEYRE, 2004. Determinación de las Reservas de Carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas de Uso de la Tierra en San Martín, Perú. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental UNALM.
- LARREA, G. 2007. Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de Combinaciones Agroforestales de *Theobroma cacao* L. Departamento de San Martín. Tesis de Ing. Ambiental UNALM.
- MACDIKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest Carbon Monitoring Program. S.L.: Winrock International Institute for Agricultural Development, 1997. 84 p.
- MINAG, 2010. "Promedio anual de deforestación por departamento, período 1990–2000 (MINAG)". Disponible en:  
[http://dgffs.minag.gov.pe/index.php?option=com\\_content&view=article&id=113&Itemid=197](http://dgffs.minag.gov.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=197)
- MINAM – PlanCC, 2013. Actualización de inventario de emisiones del Perú 2009 – PlanCC - Planificación ante el cambio climático 2013. 04 p.
- PARRESOL, B. R. 1999. Assessing tree and stand biomass. A review with examples and critical comparisons. En: Forestal. Science. Vol. 45, no. 4; 573 p.
- POLZOT, C. 2004. Carbon storage in coffee agroecosystems of southern Costa Rica: Potential applications for the Clean Development Mechanism. Thesis (Master in Environmental Studies), Toronto, Ontario, CA. York University, Faculty of Environmental Studies, 149 p.
- REYNEL, C. 2003. Árboles útiles de la amazonia peruana y sus usos. Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de especies. 263 p.
- RUIZ, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbón en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis (Master). CATIE. Turrialba, CR. 111 p.
- SATOO, T., MADGWICK, H. 1982. Forest biomass. Forestry Science. Martinus Nijhoff /Junk publishers. London. 152 p.
- SEGURA, M. 1999 Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Universidad Nacional. Heredia, CR. 127 p.
- SEGURA, M., KANNUNEN, M. 2002. Inventarios para estimar Carbono en ecosistemas forestales Tropicales. En OROZCO, L. y BRUMÉR, C. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Turrialba: CATIE. 202 p.

SIERRA, C., DEL VALLE, J. y ORREGO, S. 2003. Ecuaciones de biomasa de raíces en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: ORREGO, S.; DEL VALLE, J. y MORENO, F. Medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 169 p.

UNFCCC, 2005 “The Mechanisms under the Kyoto Protocol: The Clean Development Mechanism, Joint Implementation and Emissions Trading”. [unfccc.int/kyoto\\_protocol/mechanisms/items/1673.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/items/1673.php).

SUMMARY FOR POLICYMAKERS, IPCC WGI Fifth Assessment Report, IPCC draft, 2013. Página WEB: [http://www.stopgreensuicide.com/summaryforpolicymakers\\_wg1ar5-spm\\_fod\\_final.pdf](http://www.stopgreensuicide.com/summaryforpolicymakers_wg1ar5-spm_fod_final.pdf)

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE - UACH. 2010. Bosques PRO- carbono. Disponible en: Página web: [www.uach.cl/procarbono](http://www.uach.cl/procarbono).

VOLUNTARY CARBON STANDARD - VCS (*Voluntary Carbon Standard*) *Project Description – Campo Verde, 2009 -*

[http://www.gruporeddperu.net/biblioteca/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=170&Itemid=94](http://www.gruporeddperu.net/biblioteca/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=170&Itemid=94); Plan General de Establecimiento de Plantación Forestal, Bosques Amazónicos SAC, 2012

## 9 ANEXOS

### 9.1 CRONOGRAMA

Actividades	Semanas															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Trabajo preliminar:</b>																
Recopilación de información disponible	X	X														
Elaboración y aprobación del proyecto	X	X	X													
Identificación de las plantaciones o SAF				X												
Definición de Individuos y libreta de campo				X												
<b>Trabajo de campo:</b>																
Designación y diseño de los transectos					X	X	X									
Toma de datos de los individuos					X	X	X									
Toma de datos de los transectos					X	X	X									
Determinación de la biomasa verde					X	X	X									
Extracción de muestras de material vegetal					X	X	X									
<b>Trabajo de laboratorio:</b>																
Análisis de laboratorio de material vegetal								X	X	X						
Determinación de la materia seca										X						
<b>Trabajo de gabinete:</b>																
Elaboración de las ecuaciones										X	X					
Análisis estadístico												X				
Determinación de las reservas de C												X				
<b>Redacción y presentación:</b>																
Elaboración de borrador de tesis													X	X		
Elaboración final de tesis													X	X	X	X

### 9.2 PRESUPUESTO TENTATIVO

ACTIVIDADES	UNIDAD (S/.)	PRECIO UNID.S/	CANTIDAD	TOTAL (S/.)
A. Servicios Personales				
A.1 Ayudante	S./Jornal	30	21	630
A.2 Ayudante	S./Jornal	30	21	630
A.3 Anotador	S./Jornal	30	21	630
				1890
B. Gastos Generales				
B.1 Servicios y Mat. Escritorio				
Pasaje Lima - destino - Lima	ida/vuelta	330	1	330
Alojamiento	días	20	9	180
Alimento	días	20	9	180
Movilidad Local	días	8	9	72

Fotocopias de doc. final	unidad	0.05	2000	100
Impresión de doc.	unidad	0.4	100	40
Empastado de tesina	unidad	40	8	320
Lapiceros	Docena	5	1	5
				1227
<b>B.2 Equipos</b>				
GPS	S./Día	30	21	630
Brújula	S./Día	10	21	210
Cámara Fotográfica	Unidad	200	1	200
Hipsómetros	S./Día	30	21	630
Balanza	S./Día	30	21	630
Motosierra	S./Día	40	21	840
				3140
<b>B.3 Materiales de Campo</b>				
Wincha de 3m	unidad	5	1	5
Wincha de 50m.	unidad	30	1	30
Forcípula	unidad	15	1	15
Tijera de podar	unidad	35	1	35
SERRUCHO de podar	unidad	50	1	50
Rastrillo pequeño	unidad	25	1	25
Cuchillos	unidad	10	2	20
Bolsas de papel	millar	50	1	50
Bolsas de plástico	millar	45	1	45
Costales	docena	12	6	72
Libretas de campo	unidad	10	2	20
Rafia	rollo	2	5	10
Pilas alcalinas	par	5	12	60
Plumón indeleble	unidad	3	10	30
Machete	unidad	10	2	20
				487
<b>Sub Total</b>				6114
<b>Imprevistos (10%)</b>				611.4
<b>TOTAL (S/.)</b>				<b>7355.4</b>

### 9.3 UBICACION DE PARCELAS

FORMATO	Ubicación de parcelas			Punto inicial de la parcela	
	Unidad de Manejo Forestal	Estrato	Coordenadas UTM		
			ESTE	NORTE	
1	Mangual	1	524063	9049535	
2	Lupuna	1	524359	9049693	
3	Lupuna	1	524828	9049848	
4	Jergón sachá	1	524233	9049921	
5	Cetico	1	524086	9050172	
6	Centro	1	525913	9050212	

7	Orquídea	1	523938	9050373
8	Pona	1	525503	9050398
9	Boa	1	526028	9050407
10	Añuje	1	524638	9050601
11	Tahuarí	1	523781	9050698
12	Mojaral	1	525257	9050849
13	Gmelina	1	524243	9050906
14	Shinguirito	1	524864	9051030
15	Machimango	1	526131	9051171
16	Shiro	1	526489	9050264
17	Moshaco	1	524157	9050751
18	Bajo Mojaral	1	525536	9051148
19	Chicua	1	524756	9051246
20	Yangunturo	1	523624	9050501
21	Shapajal	1	523752	9050553
22	Atún	2	525330	9050259
23	Aucatadijo	2	525001	9050934
24	Mapu	2	524706	9050985
25	Las Bermudas	2	524720	9051357
26	Las Lomas	2	524154	9049905
27	Shapumbal	2	524781	9049683
28	Bosques	2	524484	9050214
29	Huama	2	523993	9050562
30	Conta	2	524404	9050875
31	Sachavacay	2	526050	9050856
32	Ampliación Moshaco	2	523942	9051164
33	Capironal 2	4	530148	9051678
34	Camungo	5	530058	9050102
35	Cumala	6	530625	9049919
36	Cumala	6	530759	9050402
37	Shihuahuaco	6	529428	9051733
38	Cumala	6	530478	9050148
39	Shihuahuaco	6	529433	9051861
40	Chullachaqui	6	528193	9050571
41	Urcututo	6	527078	9050691
42	Venado	6	527100	9050848
43	Chosna	6	527773	9050862
44	Chullachaqui	6	528038	9051027
45	Chosna	6	527750	9051033
46	Carrizal	6	530054	9051070
47	Pumaquiro	6	527103	9051184
48	Carrizal	6	529803	9051320
49	Tunchi	6	528880	9051853
50	Tunchi	6	528654	9051867
51	Unidos	6	527032	9049967

52	Unidos	6	526638	9050073
53	Lagarto	6	527530	9050174
54	Topal	6	530234	9050190
55	Inayuga	6	528902	9051169
56	Pijuayal	6	529049	9051390
57	Gardenia	7	529456	9051045
58	Ojé	7	526372	9051420
59	Ojé	7	526875	9051425
60	Runamula	7	528245	9051601
61	Pichico	7	529453	9052577
62	Pichico	7	529201	9052711
63	Tornillo	7	527571	9051205
64	Aguajal	7	529746	9051644
65	Pampa	8	523212	9050330

## 9.4 FORMATOS

### 9.4.1 Ubicación parcelas (coordenadas)

FORMATO 1:		Ubicación de parcelas		
N° Parcela	Unidad de Manejo Forestal	Estrato	Punto inicial de la parcela Coordenadas UTM	
			ESTE	NORTE
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

### 9.4.2 Inventario de parcelas: formato de *Inga edulis*

FORMATO 2: Inventario	N° Parcela	Coordenada de Punto de inicio en Campo		
UMF:			Coordenadas UTM ESTE	Coordenadas UTM NORTE
Edad (meses):	Drenaje:			
Orientación (rumbo 1er lado)	Régimen:			



## 9.5 ANALISIS DE CARBONO LINEA BASE:

### 9.5.1 Definición del reservorio de carbono a evaluar:

Para el diseño de la muestra, la elección de los árboles a extraer, los reservorios a evaluar y procedimientos, se siguió la metodología de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) AR-AM0003 V04<sup>13</sup> de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC/CCNUCC), y sus procedimientos (SOP's) aprobados por el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) ambos entes de Organización de las Naciones Unidas (ONU). La empresa BAM decidió evaluar solamente la biomasa aérea y estimar la biomasa de raíces a partir de la biomasa aérea utilizando un factor por defecto del IPCC 2003.

De acuerdo a la metodología A/R AM0003 V04, menciona que los reservorios a cuantificar obligatoriamente son: biomasa arbórea aérea y biomasa arbórea debajo del suelo (Raíces), y de manera opcional dependiendo de la línea base del proyecto, las reservas: arbustos y pastos, hojarasca y suelo orgánico. La decisión de la empresa BAM luego de levantar la línea base del proyecto fue evaluar solo la biomasa aérea y raíces de la plantación.

Arbustos, pastos y hojarasca: fueron evaluados en la línea base del proyecto (anexo 9.5.2) y se encontró que estaban en un estado avanzado de degradación (cuadro I) el cual puede ser esperado que la biomasa arbustiva y hojarasca disminuya más o incrementemente menos en relación a la medición inicial (*“As the pasture is in a degraded or degrading state, it can be expected that litter will decrease more or increase less in the baseline relative to the project scenario. Therefore, based on the applicability conditions of the methodology, this pool can be conservatively omitted”*)<sup>14</sup>.

Cuadro I: Cantidad de carbono arbustivo, herbáceo y hojarasca

<b>Análisis estadístico – Biomasa arbustiva / herbácea / hojarasca</b>	
PromedioB (t/ha)	2.33
Desviación estándar	1.50
Coefficiente de Variación (CV)	64.6
Error de muestreo (%)	11.7

Fuente: Determinación de la línea base de carbono en el fundo campo verde SAB-BAM, 2008

---

<sup>14</sup> Campo Verde VCS PD 2009 – Revisión 2 pág. 35. Página web: <https://vcsprojectdatabase2.apx.com/myModule/interactive.asp?Tab=Projects&a=2&i=658&lat=&lon=>

<sup>14</sup> Campo Verde VCS PD 2009 – Revisión 2 pág. 35. Página web: <https://vcsprojectdatabase2.apx.com/myModule/interactive.asp?Tab=Projects&a=2&i=658&lat=&lon=>

Por otro lado, anteriores investigaciones en la zona, (BARBARAN et al., 2001) señalan que, para la cuantificación de carbono almacenado en áreas de pastura (1ha) que corresponde al distrito de Campo Verde - Pucallpa, se evaluaron árboles existentes, el cual sólo se encontró arbusto y sotobosque, realizándose cuadrantes al azar de 1m<sup>2</sup>, los resultados de cantidad de carbono fueron mínimos: en arbusto 2.76 t C/ha, en hojarasca es 1.86 t C/ha, en raíz es 1.37 t C/ha.

Además, como parte de preparación del terreno para la reforestación, cierta cantidad de arbustos y hojarasca fueron removidos mediante actividades de quema controlada, para prevenir la ocurrencias de hierbas invasoras, insectos, enfermedades así como incendios no planificados (*“Burning will be used for site preparation in order to reduce the occurrence of weeds, insects, and disease as well as to reduce the risk of unplanned brush fire in the established plantation. Circular burn areas will be used for greater control of the fire. Management units where burning is to be used will be evaluated to ensure that all safety criteria are met”*)<sup>15</sup>.

Carbono en el suelo: Durante el levantamiento de la línea base del proyecto se realizaron evaluaciones de carbono existente en el suelo; La determinación del carbono en el suelo es una de las primeras actividades a realizarse, para poder decidir en incluir el reservorio de carbono en los monitoreos posteriores de stock de carbono, es determinar si el incremento proyectado del carbono en el suelo es significativo gracias al aporte del proyecto de reforestación. En tal sentido se hace un análisis comparativo (anexo 9.5.3 y 9.5.4) del carbono almacenado en el suelo con cobertura de pastura (potencial para reforestación) y bosques primario residual (testigo) que es el escenario más próximo al cual llegara la plantación al término de su ciclo de corta; esto con la finalidad de definir la inclusión del reservorio de carbono en el proyecto de reforestación en marco del MDL, que se desarrolla en las áreas de pastura de la empresa BAM.

Para la determinación de carbono en el suelo las muestras fueron transportadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, se utilizó el método de método de Walkey y Black. De acuerdo a los resultados obtenidos (ver cuadro II y III) se observó la similitud en cuanto al contenido de carbono en los estratos de pastizales y bosques, para los cuales se tuvo un promedio de 22.8 y 22.5 tCO<sub>2</sub>/ha; para el análisis estadístico comparativo se realizó la prueba de T Student, el cual su resultado define que el carbono existente en el área de pastos y bosques sean estadísticamente iguales (no significativo al 0.005), lo que muestra que la diferencia entre ambos no es significativa, por lo tanto no es

---

<sup>15</sup> SFM (Sustainable Forestry Management SAB-BAM). 2009. Plan de prevención y control de incendios forestales.

factible usarlo como un reservorio de carbono en el proyecto de secuestro de carbono que se viene realizando con la reforestación (AIDER 2008).<sup>16</sup>

Cuadro II y III: Cantidad de carbono en suelo de pastizales VS bosque primario residual

Análisis estadístico – Carbono en suelo de pastizales		Análisis estadístico – Carbono en suelo de bosque primario residual	
Promedio (tCO <sub>2</sub> /ha)	22.8	Promedio (tCO <sub>2</sub> /ha)	22.5
Desviación estándar	4.0	Desviación estándar	3.6
Coefficiente de Variación (CV)	17.6	Coefficiente de Variación (CV)	16.1
Número parcelas calculadas	12.3	Número parcelas calculadas	10.4
Error de muestreo (%)	9.1	Error de muestreo (%)	8.3

*Fuente: Determinación de la línea base de carbono en el fundo campo verde SAB-BAM, 2008*

Por lo tanto las evaluaciones de monitoreo solo se realizara en la biomasa arbórea aérea de la especie *Inga edulis* y se estimara por medio de factores del IPCC la biomasa arbórea subterránea (Raíces).

### 9.5.2 Carbono en Pastos / Arbustos/ Hojarasca

Parcela de evaluación	Pastos (t/ha)	Arbusto (t/ha)	Matas (t/ha)	Carbono Total (t/ha)	Tipo de área
P1	2.507	0.008	0.002	2.517	no elegible
P10	3.008	0.106	0.043	3.157	CDM elegible
P100	4.144	0.048	0.003	4.195	CDM elegible
P101	1.257	0.079	0.005	1.341	CDM elegible
P102	1.697	0.004	0.001	1.702	CDM elegible
P103	5.509	0.019	0.001	5.529	CDM elegible
P104	2.201	0.000	0.001	2.201	no elegible
P105	1.114	0.001	0.011	1.125	no elegible
P106	0.721	0.000	0.000	0.721	no elegible
P107	1.851	0.010	0.004	1.866	CDM elegible
P108	2.162	0.009	0.000	2.171	no elegible
P109	1.800	0.020	0.000	1.820	no elegible
P11	0.478	0.037	0.012	0.528	CDM elegible
P110	2.506	0.081	0.000	2.587	no elegible
P12	1.225	0.010	0.564	1.799	CDM elegible
P13	1.939	0.067	0.155	2.161	CDM elegible
P14	0.750	0.020	0.000	0.770	CDM elegible
P15	1.183	0.127	0.572	1.881	CDM elegible
P16	1.433	0.011	0.199	1.643	CDM elegible
P17	1.192	0.021	0.101	1.314	CDM elegible

<sup>16</sup> Análisis Comparativo de Carbono en el suelo en El Fundo Campo Verde – AIDER (2008)

P18	1.141	0.048	0.068	1.257	CDM eligible
P19	1.701	0.052	0.154	1.907	CDM eligible
P2	3.998	0.002	0.010	4.010	no eligible
P20	1.247	0.004	0.020	1.271	CDM eligible
P21	1.412	0.038	0.002	1.452	CDM eligible
P22	1.086	0.018	0.027	1.132	CDM eligible
P23	1.057	0.041	0.021	1.119	CDM eligible
P24	0.681	0.019	0.000	0.700	CDM eligible
P25	2.111	0.008	0.000	2.119	CDM eligible
P26	1.286	0.015	0.043	1.343	CDM eligible
P27	2.753	0.030	0.031	2.814	CDM eligible
P28	0.718	0.035	0.028	0.781	CDM eligible
P29	2.077	0.003	0.006	2.086	CDM eligible
P3	3.610	0.000	0.030	3.640	no eligible
P30	3.437	0.031	0.100	3.567	CDM eligible
P31	1.336	0.003	0.001	1.341	CDM eligible
P32	4.303	0.007	0.011	4.321	no eligible
P33	3.086	0.029	0.008	3.122	CDM eligible
P34	2.128	0.088	0.010	2.226	CDM eligible
P35	2.752	0.014	0.005	2.771	CDM eligible
P36	1.384	0.003	0.000	1.387	no eligible
P37	1.383	0.038	0.008	1.429	CDM eligible
P38	1.086	0.018	0.005	1.109	no eligible
P39	3.387	0.012	0.004	3.403	CDM eligible
P4	3.344	0.005	0.011	3.360	CDM eligible
P40	1.102	0.016	0.006	1.125	CDM eligible
P41	2.059	0.014	0.010	2.083	no eligible
P42	1.660	0.037	0.000	1.697	no eligible
P43	2.124	0.007	0.003	2.134	no eligible
P44	0.982	0.007	0.052	1.042	no eligible
P45	0.719	0.015	0.077	0.811	CDM eligible
P46	2.203	0.004	0.000	2.207	no eligible
P47	1.363	0.005	0.005	1.373	CDM eligible
P48	1.370	0.002	0.017	1.389	CDM eligible
P49	2.434	0.011	0.006	2.451	CDM eligible
P5	2.605	0.005	0.015	2.625	no eligible
P50	1.100	0.014	0.031	1.145	CDM eligible
P51	1.336	0.010	0.007	1.353	CDM eligible
P52	1.345	0.003	0.008	1.355	no eligible
P53	2.171	0.027	0.003	2.201	no eligible
P54	4.915	0.013	0.022	4.950	CDM eligible
P55	3.670	0.065	0.008	3.743	no eligible
P56	3.653	0.012	0.011	3.676	no eligible
P57	2.267	0.014	0.009	2.290	no eligible
P58	2.938	0.018	0.026	2.983	CDM eligible
P59	4.095	0.010	0.001	4.106	no eligible
P6	3.316	0.006	0.003	3.326	no eligible
P60	1.549	0.011	0.011	1.571	no eligible
P61	4.267	0.013	0.008	4.288	CDM eligible
P62	7.603	0.000	0.000	7.603	no eligible
P63	0.546	0.002	0.003	0.551	no eligible
P64	2.279	0.002	0.001	2.282	CDM eligible

P65	1.449	0.000	0.000	1.449	no elegible
P66	1.411	0.001	0.063	1.475	no elegible
P67	0.495	0.003	0.000	0.498	CDM elegible
P68	0.752	0.003	0.008	0.763	CDM elegible
P69	0.737	0.002	0.011	0.750	CDM elegible
P7	2.265	0.021	0.063	2.349	no elegible
P70	6.873	0.001	0.000	6.874	CDM elegible
P71	1.759	0.020	0.000	1.779	CDM elegible
P72	0.418	0.022	0.006	0.446	no elegible
P73	1.028	0.003	0.003	1.033	CDM elegible
P74	1.978	0.000	0.000	1.978	no elegible
P75	2.684	0.007	0.000	2.691	CDM elegible
P76	4.122	0.001	0.000	4.123	no elegible
P77	2.106	0.008	0.001	2.114	CDM elegible
P78	1.386	0.010	0.000	1.396	CDM elegible
P79	2.261	0.028	0.000	2.290	CDM elegible
P8	4.686	0.009	0.007	4.702	no elegible
P80	1.106	0.004	0.002	1.111	no elegible
P81	1.958	0.062	0.000	2.020	no elegible
P82	1.429	0.007	0.000	1.437	no elegible
P83	2.288	0.008	0.000	2.296	CDM elegible
P84	2.801	0.013	0.001	2.815	CDM elegible
P85	0.756	0.135	0.008	0.899	CDM elegible
P86	8.981	0.025	0.000	9.006	CDM elegible
P87	5.867	0.068	0.011	5.945	CDM elegible
P88	2.013	0.025	0.011	2.048	CDM elegible
P89	5.028	0.013	0.000	5.042	CDM elegible
P9	3.830	0.215	0.077	4.122	CDM elegible
P90	2.681	0.004	0.016	2.701	no elegible
P91	2.238	0.029	0.013	2.279	CDM elegible
P92	1.240	0.041	0.077	1.358	CDM elegible
P93	2.028	0.036	0.224	2.287	no elegible
P94	1.353	0.027	0.055	1.435	CDM elegible
P95	4.080	0.023	0.000	4.103	CDM elegible
P96	1.811	0.009	0.011	1.832	CDM elegible
P97	2.782	0.017	0.027	2.826	CDM elegible
P98	1.582	0.003	0.053	1.637	CDM elegible
P99	1.053	0.005	0.001	1.059	CDM elegible

### 9.5.3 Carbono en suelos de pastizales

Parcela	Carbono por parcela (kg/m <sup>2</sup> )			Carbono (t/ha)
	0 - 10 cm	10 - 30 cm	0 - 30 cm	0 - 30 cm
PP8	1.29	1.35	2.64	26.4
PP9	1.46	1.33	2.79	27.9
PP10	1.12	1.24	2.36	23.6
PP11	1.50	1.20	2.70	27.0

PP13	1.24	1.34	2.57	25.7
PP15	1.07	0.84	1.91	19.1
PP18	1.29	1.10	2.39	23.9
PP21	1.18	1.50	2.67	26.7
PP22	1.61	0.18	1.78	17.8
PP24	0.70	1.03	1.73	17.3
PP25	0.88	0.89	1.76	17.6
PP26	1.04	1.01	2.06	20.6
PP28	0.84	1.07	1.91	19.1
PP29	0.83	1.26	2.09	20.9
PP30	1.88	1.30	3.18	31.8
PP31	0.97	1.32	2.28	22.8
PP32	0.85	1.03	1.88	18.8
PP34	0.86	1.32	2.18	21.8
PP91	1.57	0.98	2.55	25.5
PP96	1.03	1.21	2.24	22.4

#### 9.5.4 Carbono en suelos de bosque primario residual

Parcela	Carbono por parcela (kg/m <sup>2</sup> )			Carbono (t/ha)	
	Profundidad del suelo	0 - 10 cm	10 - 30 cm	0 - 30 cm	
PB1		0.48	1.58	2.06	20.57
PB2		0.79	1.97	2.76	27.56
BPR1		0.45	1.21	1.66	16.61
BS1		1.17	1.12	2.29	22.92
BPR2		0.73	1.24	1.97	19.72
BPR3		0.96	1.18	2.15	21.46
BPR4		1.15	1.04	2.19	21.89
BPR5		1.19	1.71	2.90	29.00
BPR6		1.29	1.09	2.39	23.85
BPR7		0.93	1.23	2.15	21.54