

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES



**POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO DE LA *Guadua spp.* POR
ESTADÍOS EN EL BOSQUE LOCAL "EL MARONAL DE
ATUMPLAYA"**

TESIS

Para obtener el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

DAVID ARMANDO AGUIRRE MORI

ASTRID DOMY GUTIÉRREZ RUIZ

Asesor:

Ing. MANUEL RAMIREZ NAVARRO

Co-asesor:

M.C. ARTURO CASTAÑEDA MENDOZA

Dr. JORGE TORRES DELGADO

MOYOBAMBA – PERÚ

2009

Nº DE REGISTRO: 06050308



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL.

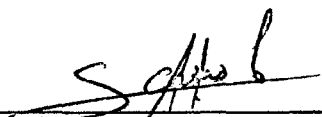
En la sala de conferencia de la facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín – T sede Moyobamba y siendo las siete de la noche del día viernes 31 de octubre del dos mil nueve, se reunió el Jurado de Tesis integrado por:

Ing. M.Sc. SANTIAGO ALBERTO CASAS LUNA	PRESIDENTE
Ing. RUBÉN RUIZ VALLES	SECRETARIO
Ing. JULIO DE LA ROSA RÍOS	MIEMBRO


Para evaluar la Sustentación de la Tesis Titulado “**POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO DE LA GUADUA SPP. EN EL BOSQUE LOCAL EL MARONAL DE ATUMPLAYA**”, presentado por los Bachilleres en Ingeniería Ambiental **DAVID ARMANDO AGUIRRE MORI** y **ASTRID DOMY GUTIÉRREZ RUIZ**; según Resolución N° 0062-2008-UNSM-T/COFE-MOY de fecha 25-07-2008.

Los señores miembros del Jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica,; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran **APROBADO** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **MUY BUENO** y nota **DIECISIETE (17)**.


En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las 21:30 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.



Ing. M.Sc. SANTIAGO ALBERTO CASAS LUNA
Presidente



Ing. RUBÉN RUIZ VALLES
Secretario



Ing. JULIO DE LA ROSA RÍOS
Miembro

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todas las personas que luchan por mejorar la calidad ambiental de nuestro planeta.

A mi madre Marielena, a mi hermano Armando y a mi tía Rosenda, fundamentos permanentes en el camino de mi superación.

David A. Aguirre Mori

DEDICATORIA

A mis amados padres Astriht y Edgar, que desde el momento que me tuvieron en sus brazos supieron guiarme por el camino de la vida; gracias por ser mi ejemplo de vida y triunfo profesional, gracias por los consejos, el apoyo incondicional que me brindaron en todo momento, por su dedicación y más que nada por su AMOR, los amo.

A mi hermano Edgar Luis, que supere todos los obstáculos de la vida, y espero que siga mis pasos como hasta ahora y sea un gran profesional.

A mi tía Domy, GRACIAS por tu apoyo y amor incondicional en todo el camino de mi vida te amo. Papá Casi así no estés hoy conmigo siempre te llevaré en mi corazón y más que nada tus enseñanzas.

A mis abuelos, tíos, primos por todo su cariño hacia mi persona.

Astrid Domy Gutiérrez Ruiz

AGRADECIMIENTO

Esta tesis fue posible gracias al apoyo y confianza de la Cooperación Técnica Alemana – GTZ, quienes no sólo financiaron gran parte de la investigación, sino que también nos permitieron cumplir el reto de hacer un estudio sobre Captura de Carbono en *Guadua spp.*

Al Proyecto Especial Alto Mayo por el apoyo logístico y a los Ingenieros Manuel Ramírez Navarro, Ezequiel Aguilar Ruiz y Denis Vela Tang por brindarnos su apoyo en campo.

A los miembros del Comité del Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”, Alicia, Alejo, Edson, Amadeo, Zegarra, Jorge, Delmer y la familia Pinedo, por su colaboración.

A nuestros docentes universitarios por todos los conocimientos brindados en el transcurso de nuestra formación académica.

Un agradecimiento muy especial a los profesionales Arturo Castañeda Mendoza, Aquilino García Bautista, Jorge Sánchez Ríos y Jorge Torres Delgado quienes fueron nuestros guías y nos brindaron la orientación técnica necesaria para hacer posible la elaboración del presente documento.

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la cantidad de carbono capturado en los diferentes estadios de la Marona (*Guadua spp.*) en el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”, se calculó la biomasa aérea total y su distribución por componentes (tallos, ramas y hojas), en una plantación adulta que data desde 1930 y que en la actualidad está siendo recuperada y manejada de manera sostenible por los pobladores locales; utilizando ecuaciones alométricas logarítmicas de la forma $Y = \alpha(DAN)^\beta$.

Se realizó dos censos forestales (2008 y 2009) en dos de los cuatro cuarteles que comprende el Maronal (cuartel I y III) debido a que son representativos de la estructura de los cuarteles II y IV. Tomando como base una muestra de diecinueve culmos (tallos completos de la marona) por cada estadio de crecimiento (brote, verde y maduro), se realizó un muestreo destructivo para determinar la longitud total del culmo, el contenido de humedad, el volumen, el peso fresco de cada culmo y sus componentes y la biomasa aérea total.

En la fase de gabinete se obtuvieron tres ecuaciones una para cada estadio, todos los componentes tuvieron coeficiente de determinación (R^2) mayores a 0,79 y el cuadrado medio del error (CME) fue menor a 0,055 en las ecuaciones elegidas.

La biomasa promedio obtenida en cada estadio fue de 29,83 Kg en brotes (27,35 kg, en ramas y 2,48 kg. en follaje), 49,65 kg. en verdes (40,04 kg. en tallo, 6,75 kg. en ramas y 2,86 kg. en follaje), y 47,76 kg. en maduros (40,52 kg. en tallos, 5,57 kg. en ramas y 1,68 kg. en follaje).

La Biomasa Total obtenida en el bosque de 6,31 has fue de 407,34 Ton en el año 2008 y 506,14 Ton en el año 2009, con un incremento de 98,8 ton de biomasa al año; lo que equivale a 44,462 ton de C/año en el toda la plantación y 7,046 toneladas de carbono/ Ha / año.

La captura de CO₂ atmosférico es de 163,027 Ton de CO₂ en un año y convertido a biomasa aérea (culmo, ramas y hojas) de *Guadua spp.*; que representa 25,836 Ton de CO₂/Ha/año.

El uso de los tallos maduros de marona en la construcción de casas implica que la biomasa puede ser transferida a una reserva con un periodo de residencia promedio de 80 años con el tratamiento adecuado.

ABSTRACT

For the sake of determining the quantity of carbon captured at the Big Sea's different stadiums (*Guadua spp.*) At the Local Forest Atumplaya's Maronal, you calculated the aerial total biomass and his distribution for components (stem, branches and sheets), at an adult plantation that you date since 1930 and that as of the present moment is being recovered and driven of sustainable way by the local settlers; Using equations alométricas logarithmic of the shape $Y = a + b \cdot X^\alpha$ (THEY GIVE).

Two forestal censuses (2008 and 2009) in two of the four barracks that the Maronal (barracks I and III) because the representatives of the structure of the barracks are II and IV comprises were accomplished. Taking a sample of like base nineteen culmos (the big sea's complete stems) for each growth stage (sprout, green and ripe plantain), a destructive sampling to determine the overall length of the culmo, the humidity content, the volume came true, he weighed cool of every culmo and your components and the aerial total biomass.

In the theoretical phase one for each stadium, all the components obtained three equations themselves they had coefficient of determination (R^2) bigger to 0,79 and the half a square of the error (CME) was minor to 0,055 in the elected equations.

The average biomass obtained at each stadium belonged to 29.83 in-bud Kg (27,35 kg, at branches and 2,48 kg. at foliage), 49,65 kg. in greens (40,04 kg. in stem, 6,75 kg. at branches and 2,86 kg. at foliage), and 47,76 kg. in ripe plantains (40,52 kg. in stems, 5,57 kg. at branches and 1,68 kg. at foliage).

The Total Biomass obtained at 6.31 forest are he was of 407.34 Ton in the year 2008 and 506.14 Ton in the year 2009, with 98.8 ton's increment of biomass a year; What is equivalent to 44.462 C's ton year in the whole the plantation and 7.046 tons of carbon There Is year.

The capture of atmospheric CO₂ is of 163.027 Ton of CO₂ in one year and once aerial (culmo, branches and sheets) *Guadua's* biomass was brought over to *spp.*; That you represent 25.836 Ton of CO₂/Ha year.

The use of the ripe stems of big sea at the construction of houses implies that the biomass can be transferred to a reserve with a period of average residence of 80 years with the adequate treatment.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
INDICE	viii
INDICE DE CUADRO	xii
INDICE DE FIGURAS	xiv
INDICE DE FOTOS	xv
INDICE DE GRAFICOS	xvi

CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS	3
GENERAL	
ESPECÍFICOS	
1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	3
1.3.1. Antecedentes de la Investigación.	3
Antecedentes de estimación de la captura de carbono en <i>Guadua</i> y especies afines	3
Antecedentes de estimación de la captura de carbono en el Perú y otros países	8
Antecedentes de Maronales en el Alto Mayo	17
• ESTABLECIMIENTO DEL BOSQUE LOCAL “EL MARONAL DE ATUMPLAYA”	19
• CAPACIDAD DE USO MAYOR DE SUELOS	20
• ÁREAS DE PRODUCCIÓN Y APROVECHAMIENTO	22
1.3.2. Bases Teóricas	24
• DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESPECIE	24
Nomenclatura	24
Características anatómicas del culmo	33
• ESTRUCTURA Y DINAMICA DE LOS GUADUALES	36

• ESTADOS DE MADUREZ DE LA GUADUA	37
• EL GENERO GUADUA EN AMÉRICA	38
• AMBIENTE NATURAL DE LA GUADUA	41
• Importancia de la Guadua	44
- Ambiental	44
- Importancia Sociocultural	46
- Importancia económica	48
• LA GUADUA COMO SECUESTRAADOR DE CARBONO	48
• EL CICLO DE CARBONO EN LA NATURALEZA	49
a. Ciclo Geológico	50
b. Ciclo Biológico	52
El Carbono en ecosistemas forestales	55
• LA FOTOSÍNTESIS	56
El curso del Proceso	57
Razón fotosíntesis/respiración	58
• INFLUENCIA HUMANA EN EL CICLO DEL CARBONO	58
• ANTECEDENTES DE CAPTURA DE CARBONO	60
• MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CARBONO	68
• INVENTARIOS DE CARBONO	68
• DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA	69
1.3.3. Definición de términos	69
1.4. VARIABLES	77
1.4.1. Variable independiente - diámetro a la altura normal (DAN)	77
1.4.2. Variable dependiente - biomasa aérea total (BAT)	77
1.5. HIPÓTESIS	78
CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO	
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	79
2.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	79
2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	81
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	82
2.4.1. Selección del área de estudio	82
2.4.2. Descripción del área de estudio	83

Análisis de suelos	83
2.4.3. Tamaño de la muestra	84
2.4.4. Medición del crecimiento de Brotes	84
2.4.5. Selección de las parcelas y de los culmos a derribar	85
2.4.6. Separación y Pesaje de la biomasa aérea	86
2.5. TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	87
2.5.1. Métodos de laboratorio	87
• Secado y pesaje de las muestras	87
• Cálculo del Contenido de Humedad por componentes en cada estadio	90
• Estimación de volúmenes de la <i>Guadua spp.</i>	90
2.5.2. Métodos de Gabinete	91
• Elaboración de las ecuaciones de biomasa	91
• Aplicación de las ecuaciones de biomasa	92
CAPITULO III: RESULTADOS	
3.1. RESULTADOS	93
3.1.1. Resultados de Campo	93
• Estructura de los cuarteles	93
Abundancia	93
Distribución diamétrica	96
Volumen de la <i>Guadua spp</i>	99
• Crecimiento de brotes	100
• Biomasa obtenida en el Muestreo Destructivo	102
3.1.2. Resultados de Laboratorio	104
Contenido de Humedad (CH)	104
3.1.3. Resultado del Procesamiento de datos	107
• Ecuaciones para la biomasa aérea total de la <i>Guadua spp.</i>	107
Ecuaciones para la biomasa aérea utilizando la variable independiente altura (H)	108
Ecuaciones para la biomasa aérea utilizando la variable independiente altura y diámetro	110
Ecuaciones para la biomasa aérea utilizando la variable	110

independiente diámetro	
• Interpretación del error calculado para la ecuación de biomasa aérea total de <i>Guadua spp.</i>	113
• Estimación de biomasa aérea por estadio contenido en la <i>Guadua spp.</i>	114
• Biomasa anual entre los cuarteles I y III durante el año 2008 – 2009	116
• Estimación del contenido de biomasa promedio de la <i>Guadua spp.</i> en los cuarteles II y IV	119
• Calculo promedio del contenido de carbono de la <i>Guadua spp.</i> en el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”	122
• Flujo anual de carbono capturado por la especie <i>Guadua spp.</i> durante los años 2008 y 2009	123
3.2. DISCUSIONES	126
3.3. CONCLUSIONES	131
3.4. RECOMENDACIONES	133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
ANEXOS	138

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°01:	Peso seco y potencial de captura de CO ₂ por ha de <i>G. angustifolia</i> , en un periodo de crecimiento de 6 años.	7
Cuadro N°02:	Principales Productores de Marona en el Alto Mayo	24
Cuadro N°03:	Zonas de Vida Donde Puede Crecer la Guadua	43
Cuadro N°04:	Factores Climáticos y Edáficos que Condicionan el Crecimiento de la guadua	44
Cuadro N°05:	Análisis físico químico del suelo en el bosque local	83
Cuadro N°06:	Existencia de culmos por cuartel y por Ha - 2008	93
Cuadro N°07:	Existencia de culmos por cuartel y por Ha – 2009	94
Cuadro N°08:	Incremento de la abundancia por hectárea	95
Cuadro N°09:	Ecuaciones de volumen	99
Cuadro N°10:	Porcentaje del volumen por hectárea por estadio	99
Cuadro N°11:	Porcentaje de Biomasa promedio para cada componente de la <i>Guadua spp.</i>	102
Cuadro N°12:	Biomasa aérea promedio para cada componente de la <i>Guadua spp.</i>	103
Cuadro N°13:	Rangos del contenido de humedad Total promedio	105
Cuadro N°14:	Promedios de contenido de humedad de los diferentes componentes de las guaduas maduras	106
Cuadro N°15:	Promedios de contenido de humedad de los diferentes componentes de las guaduas verdes.	107
Cuadro N° 16:	Promedios de contenido de humedad de los brotes.	107

Cuadro N°17:	Ecuaciones de biomasa aérea con variable independiente altura (H).	108
Cuadro N°18:	Ecuaciones de biomasa aérea con variable independiente altura (H) y diámetro (DAN).	110
Cuadro N°19:	Ecuaciones de biomasa aérea aplicadas para el total del culmo.	111
Cuadro N°20:	Mejores tres ecuaciones de biomasa aérea aplicadas para el total del culmo.	113
Cuadro N°21:	Comparación entre los coeficientes y sus errores de las mejores tres ecuaciones.	113
Cuadro N°22:	Biomasa por cuartel y por hectárea en toneladas en el año 2008	114
Cuadro N°23:	Biomasa por cuartel y por hectárea en toneladas en el año 2009	115
Cuadro N°24:	Biomasa en los Cuarteles I, II, III y IV en los años 2008 y 2009	121
Cuadro N°25:	Contenido de carbono (Stock) por cuarteles en los años 2008 y 2009	122
Cuadro N° 26:	Fijación anual de biomasa, carbono y dióxido de carbono en el Bosque local “El Maronal de Atumplaya” 2008 - 2009	124
Cuadro N°27:	Comparación de carbono capturado en Ton de C/ha/año entre la <i>Guadua angustifolia</i> Kunth (Colombia) y <i>Guadua spp.</i> (Perú)	129
Cuadro N°28:	Densidad poblacional	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. N°01:	Carbono almacenado bajo diferentes sistemas con cacao	10
Fig. N°02:	Flujo de Carbono bajo diferentes sistemas con cacao	11
Fig. N°03:	Rizoma paquimorfo	26
Fig. N°04:	Posición de las ramas en el tallo: b) superiores, y c) inferiores o bajas	32
Fig. N°05:	Ciclo del carbono	49
Fig. N°06:	Ciclo Corto del Carbono	54
Fig. N°07:	Ciclo de carbono en bosques IPCC	56
Fig. N°08:	Cuarteles censados en los años 2008 y 2009	81
Fig. N°09:	Flujo de Actividades de obtención de datos en terreno y en laboratorio	89
Fig. N°10:	Elementos para encontrar el Volumen de la Guadua	91
Fig. N°11:	Mapa de Distribución de Cuarteles del Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”	119
Fig. N°12:	Distribución de la biomasa aérea por componente y edad de culmo en una plantación de: (A) <i>Bambusa oldhamii</i> ; y (B) <i>Guadua spp.</i>	128

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N°01:	Renuevo o Brote	27
Foto N°02:	Partes del tallo de guadua	28
Foto N°03:	Crecimiento ascendente o erecto con dirección vertical de un culmo de <i>Guadua spp.</i> , obsérvese la tendencia oblicua en su parte apical	29
Foto N°04:	Partes de una bráctea del culmo de <i>Guadua spp.</i> : a) lámina, b) lígula, c) vaina.	30
Foto N°05:	Hojas de la <i>Guadua spp.</i>	31
Foto N°06:	Yema Nodal	32
Foto N°07:	Ramas basales en el culmo de la Guadua	33
Foto N°08:	Estadios de la <i>Guadua spp.</i> : A) brote, B) verde, C) maduro y D) sobre maduro	38
Foto N°09:	Izquierda: envases plásticos con cintas métricas; Derecha: medición del crecimiento de un brote	85
Foto N° 10:	Proceso de pesado y secado de las submuestras en el horno artesanal.	87
Foto N° 11:	Submuestras en el interior del horno artesanal.	88
Foto N° 12:	Muestras de hojas y ramas secadas en la Estufa.	88

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico N°01:	Incremento de la abundancia por hectárea entre los años 2008 y 2009	96
Gráfico N°02:	Distribución diamétrica del cuartel III - 2008	97
Gráfico N°03:	Distribución diamétrica del cuartel I – 2008	98
Gráfico N°04:	Comparación del volumen por estadio entre los Cuarteles I y III	100
Gráfico N°05:	Desarrollo de los brotes por intervalos de altura inicial en el Cuartel I	101
Gráfico N°06:	Desarrollo de los brotes por intervalos de altura inicial en el Cuartel III	101
Gráfico N°07:	Distribución de la biomasa aérea promedio en porcentaje por componente de la <i>Guadua spp.</i>	102
Gráfico N°08:	Distribución de la biomasa aérea promedio por componente de la <i>Guadua spp.</i>	103
Gráfico N°09:	Porcentaje de humedad total promedio por estadios	104
Gráfico N°10:	Contenido de Humedad (máximo, promedio y mínimo) en la biomasa aérea Total por estadios	105
Gráfico N°11:	Contenido de Humedad por componentes y estadios en <i>Guadua spp.</i> - 2008	106
Gráfica N°12:	BATGs utilizando la altura (H) como variable independiente	109
Gráfico N°13:	BATGs con DAN, de las tres ecuaciones ajustadas para la biomasa aérea total de los brotes	111
Gráfico N°14:	BATGs con DAN, de las tres ecuaciones ajustadas para la biomasa aérea total de los culmos verdes	112

Gráfico N°15:	BATGs con DAN, de las tres ecuaciones ajustadas para la biomasa aérea total de los culmos maduros	112
Grafico N°16:	Distribución de la biomasa en toneladas por hectárea por estadio para ambos cuarteles en el año 2008	115
Grafico N°17:	Distribución de la biomasa en toneladas por hectárea por estadio para ambos cuarteles en el año 2009	116
Grafico N°18:	Acumulación de Biomasa en el Cuartel I entre los años 2008 y 2009	117
Grafico N°19:	Acumulación de Biomasa en el Cuartel III entre los años 2008 y 2009	117
Grafico N°20:	Acumulación de Biomasa en los Cuarteles I y III entre los años 2008 y 2009	118
Grafico N°21:	Biomasa en los Cuarteles I, II, III y IV en los años 2008 y 2009	121
Gráfico N°22:	Flujo anual de carbono capturado (2008 al 2009)	123

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el fenómeno atmosférico de mayor importancia es el cambio climático, generado por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero, los mismos que provocan el aumento de la temperatura global en la atmósfera. Este fenómeno se debe a dos causas que son: el consumo de combustible fósil por las naciones industrializadas (Brown y Lugo, 1992) como causa principal y el cambio de uso del suelo.

La mayor parte de los procesos productivos, el transporte, la producción del cemento, la generación de electricidad y los sistemas domésticos dependen de la energía derivada de los combustibles fósiles. La emisión se ha incrementado 3,5 veces de 1950 a la presente década y, actualmente, el volumen de CO₂ (el gas más abundante de los que se encuentran en la atmósfera y ocasionan el efecto invernadero) se calcula aproximadamente en 6.2 billones por año (Montoya *et al.*, 1995).

El cambio de uso del suelo, conlleva a la deforestación anual de unas 17 millones de hectáreas aproximadamente, lo que significa una liberación de cerca de 1.8 billones de toneladas de carbono, que corresponde del total de las emisiones antropogénicas (Montoya, *et al.*, 1995).

La valoración económica ecológica de la diversidad biológica y en especial del servicio de captura de carbono, constituye una herramienta clave para la protección y uso sustentable de la misma, pues pretende mostrar que el beneficio que resulta de dicha actividad, puede ser mayor en términos de desarrollo económico y social, que la que se obtiene de actividades asociadas a su mal manejo y destrucción.

La información sobre la biomasa, es fundamental; para responder muchas preguntas sobre el papel que juegan los bosques en el fenómeno mundial, incluyendo el ciclo biogeoquímico de carbono, principalmente. Las estimaciones del flujo de carbono provenientes de los cambios de uso del suelo, son derivados de modelos cuyos resultados dependen, en parte, de estimaciones de biomasa en los bosques. Su

importancia radica en generar escenarios de carbono almacenado en la vegetación, y que éste sea retenido dando como resultado estimaciones del carbono neto absorbido.

Como los cambios de uso del suelo suceden, los modelos de cuantificación del carbono se dividen en la biomasa forestal de acuerdo al destino del carbono. Una parte se integra a la atmósfera, otra se almacena en el suelo, otra permanece en el sitio como materia muerta, o es exportado como productos. Por esto, la precisión de las estimaciones de biomasa es de crítica importancia, porque los modelos determinan la cantidad de carbono que llega a la atmósfera y son muy sensibles a estas estimaciones (Brown y Lugo, 1982).

El Bosque Local el Maronal de Atumplaya es un área de Conservación que actualmente está siendo aprovechado de manera sostenible; cuenta con 7,9 Has de las cuales 6,3 Has son de marona propiamente dicho, una cantidad muy pequeña si comparamos con la totalidad de área boscosa que posee el Alto Mayo; sin embargo, es una especie endémica que posee características morfológicas excelentes para su desarrollo y aprovechamiento como material de construcción además de proporcionar servicios ambientales con la captura de carbono, con el almacén de agua, como refugio de especies endémicas, como defensas ribereñas y entre otros.

Por lo expuesto anteriormente planteamos la siguiente interrogante:

¿Cuál es el Potencial de captura de carbono de la *Guadua spp.* por estadios en el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”?

En la presente investigación se estimará la biomasa de la marona mediante la generación de ecuaciones alométricas con las cuales se podrá calcular con precisión la capacidad del bosque como captador de carbono.

Estas estimaciones de biomasa, se realizaron con el fin de demostrar que la *Guadua spp.*, además de ser un cultivo rentable y de rápido crecimiento es un buen captador de CO₂ atmosférico, esto ligado a la capacidad de generación de biomasa en un área determinada.

1.2. OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar el potencial de captura de carbono en los diferentes estadios de la Marona (*Guadua spp.*) en el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”.

ESPECÍFICOS

- Cuantificar la biomasa aérea total y su distribución por componentes (tallos, ramas y hojas) de la especie estudiada.
- Generar ecuaciones alométricas que calculen la cantidad de carbono capturado en la *Guadua spp.*
- Generar una metodología válida que sea técnica y económicamente viable de utilizar en estudios de cuantificación de captura de carbono para plantación de *Guadua spp.*

1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.3.1. Antecedentes de la Investigación

Hasta el momento no se han realizado investigaciones sobre captura de carbono en *Guadua spp.* en nuestro país; sin embargo por la preocupación del calentamiento global a causa de los gases de efecto invernadero se han realizado un sin número de investigaciones sobre este tema en diferentes especies vegetales tanto en el ámbito internacional y como en nuestro país.

Entre las más resaltantes podemos mencionar:

Antecedentes de estimación de la captura de carbono en *Guadua* y especies afines

- Castañeda, *et al.* (2005), realizaron un estudio sobre la “Acumulación de Carbono en la Biomasa Aérea de una Plantación de *Bambusa oldhamii*, Veracruz - México”. El cual consistió en cuantificar la biomasa aérea total de la plantación de siete años de edad. Para ello determinaron la

estructura de la población de culmos de diferentes edades, desarrollaron ecuaciones de estimación de biomasa aérea total y por componentes (tallo, ramas y follaje) para cada generación (cohorte) presente, y así obtuvieron la distribución de la biomasa aérea en dichos componentes.

Con base en una muestra de 22 culmos (fustes o tallos) por generación, se obtuvieron ecuaciones para las cuatro cohortes (grupos de edad) de 5 culmos presentes (uno a cuatro años de edad). Con excepción del componente de ramas en la cohorte de tres años de edad, los coeficientes de determinación fueron mayores a 0,70 en todas las ecuaciones generadas, las diferencias en la biomasa calculada para culmos de diámetro similar pertenecientes a diferentes cohortes permite calcular el incremento en biomasa asociado con la edad, a pesar de que el diámetro y altura del culmo permanecen constantes desde el primer año de edad. La biomasa acumulada en las cuatro cohortes presentes en la plantación fue 103,97 Mg/ha, de los cuales 83,7% se acumuló en el tallo, 12,3% en follaje y 4% en las ramas. El uso de los tallos de marona en la construcción de casas implica que 43,4 Mg de C de la biomasa actual pueden ser transferidos a una reserva con un periodo de residencia promedio de 80 años.

- Castañeda, (2005) en el estudio “Potencial del Bambú Para la Captura de Carbono y el Establecimiento de Plantaciones Forestales” menciona que en la región central del estado de Veracruz, se han establecido plantaciones de bambú como una alternativa para recuperar la frontera silvícola, proteger el suelo y generar recursos para los productores utilizando especies de rápido crecimiento (*Guadua angustifolia*, *Bambusa oldhamii*, *Phylostachys sp.*, entre otras).

La rentabilidad de las plantaciones está ligada a su capacidad de producción de biomasa, por lo que es importante contar con estimaciones precisas de este parámetro ecológico. Basado en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de biomasa y la productividad

primaria neta en una plantación joven (8 años de edad) de *Bambusa oldhamii* establecida en Huatusco, Veracruz.

Asimismo, se hizo una estimación del potencial para la captura de carbono considerando el uso del bambú en la construcción de casas. La plantación se ubica en un terreno con pendiente de 18%, exposición NE, a 1 344 m.s.n.m. El clima es de tipo (A) C (m) b (i) g con una temperatura media anual de 19 °C y una precipitación de 1746 mm.

Se realizó un inventario para conocer la estructura de los culmos (tallos completos) de la plantación, un muestreo destructivo para generar ecuaciones de predicción de biomasa aérea a partir del diámetro y finalmente se estimó la producción anual de biomasa (productividad primaria neta aérea) la cual involucró a la biomasa incorporada por el crecimiento de los nuevos culmos (octava cohorte de culmos), el incremento en biomasa de los culmos presentes al momento de realizar el estudio y la producción de hojarasca durante un año.

Al momento de iniciar el estudio, la edad de la plantación era de 7 años, y se encontraban presentes los culmos de las cuatro últimas generaciones o cohortes (7, 6, 5 y 4). A partir del establecimiento de la plantación, se ha dado un incremento del diámetro, altura y biomasa promedio de los culmos de cada cohorte con respecto a la anterior, aclarando que el diámetro y la altura de un culmo son constantes a partir de la primera estación de crecimiento. A pesar de lo anterior, en los siguientes años de vida del culmo se incrementa la biomasa del follaje, ramas y tallo, y de acuerdo con los objetivos de manejo, será cosechado a los cuatro años de edad.

La biomasa acumulada hasta el octavo año de la plantación, fue de 128 ton/ha, lo que representa una tasa de acumulación de 16 ton por año. El incremento en biomasa proveniente del crecimiento de los nuevos culmos fue de 15.8 ton/ha/año, de los cuales 87 y 13 % corresponden al tallo y follaje respectivamente; el incremento en biomasa de los culmos preexistentes fue de 10.9 ton/ha/año, de los cuales 7.3 y 3.6 ton

corresponden a los culmos de 1 y 2 años de edad, respectivamente; la producción de hojarasca se estimó en 5.56 ton/ha. Los resultados anteriores indican que la PPN aérea fue de 32.2 ton/ha/año.

Demostrando así que la pendiente de las ecuaciones de biomasa aumentó gradualmente con la edad de la cohorte en la plantación, lo cual sugiere que en esta especie de bambú la relación alométrica entre la biomasa y el diámetro del tallo se modifica con la edad de los culmos.

Estos datos muestran que las plantaciones de bambú son una alternativa potencial para la captura de carbono en el trópico mexicano, con una productividad media comparable al de otras especies leñosas tropicales. Sin embargo, la cantidad y el tiempo medio de residencia (secuestro) del carbono dependerán de los productos obtenidos.

- Riaño *et al*, (2002) en el estudio titulado “Cuantificación del contenido de carbono en suelos bajo rodales de *Guadua angustifolia*” menciona que la Guadua presta un sin número de servicios ambientales: controla la erosión, regula el caudal hídrico, aporta materia orgánica, contribuye a la biodiversidad por ser hábitat de diversa flora y fauna, captura de CO₂ de la atmósfera y suelo, y embellece el paisaje promocionando el ecoturismo.

El potencial de *Guadua angustifolia* como planta fijadora del dióxido de carbono atmosférico (CO₂) es de 33 toneladas de CO₂ por hectárea/año, información fundamental y necesaria para ingresar al sistema internacional de comercio de derechos de emisión, lo cual traería beneficios adicionales a los inversionistas y cultivadores (Riaño *et al*, 2002).

En el Cuadro N°01 se muestra los datos del peso seco estimado para 400 matas por hectárea de *Guadua angustifolia*, durante un periodo de crecimiento de 2,190 días (6 años), con 8,640 culmos y un total de área foliar 67,152m² (Riaño *et al*, 2002).

Cuadro N°01: Peso seco y potencial de captura de CO₂ por ha de *G. angustifolia*, en un periodo de crecimiento de 6 años

ORGANO	PESO SECO (Ton)	CARBONO FIJADO (ton)	PORCENTAJE (%)
Rizoma	21,60	10,80	20
Culmo	79,11	39,50	73
Ramas	4,60	2,30	4
Hoja caulinar	0,40	0,20	0,4
Follaje	2,96	1,50	2,6
TOTAL PLANTA	108,67	54,30	100

Fuente: Riaño *et al*, 2002.

Del cuadro se deduce que una hectárea de *G. angustifolia*, produce 108.67 toneladas de materia seca y fija 54.3 toneladas de carbono, que multiplicado por el factor de equivalencia (3.68) de CO₂, se obtiene 199 toneladas equivalentes de CO₂ en 6 años y 33 toneladas equivalentes de CO₂/año.

- La Sociedad Colombiana del Bambú (2001), menciona que la guadua presta un sin número de servicios ambientales. El proyecto “Cualificación del efecto sumidero de carbono de la *Guadua Angustifolia* Kunth” realizado por el Centro Nacional de Investigaciones del Café-CENICAFÉ, determinó una capacidad de 54 toneladas de CO₂ por hectárea en 6 años (9 Ton/Ha/año). Lo anterior revela el potencial de la guadua como captadora del dióxido de carbono atmosférico, información fundamental y necesaria para ingresar al sistema internacional de comercio de derechos de emisión, lo cual traerá beneficios adicionales para los inversionistas y agricultores que la cultiven y siembren.
- Vablen, Schlegel y Escobar (1979), realizaron una investigación que buscaba estimar la productividad de rodales de las especies balbuceas *Chusquea culeou* y *Chusquea tenuiflora* con fines de estudios ecológicos en el sur de Chile. Luego de una descripción de las especies y las condiciones de su hábitat se estimó la biomasa de los culmos en pie

sobre el nivel del suelo con un promedio de 156 – 162 ton/ha para *Ch. culeou* y *Ch. tenuiflora* la biomasa en pie fue 13 Ton/ha.

Antecedentes de estimación de la captura de carbono en el Perú y otros países

- Palomino y Cabrera (2008), realizaron una investigación conjunta llamada: “Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo”, en la que se estimó el servicio ambiental de captura del CO₂ de las especie de flora predominante, siendo la “grama salada” *Paspalum vaginatum* Swartz, la “Salicornia” *Salicornia fruticosa* Linneo y la especie de valor artesanal, como la “totora” *Schoenoplectus californicus*, y el “junco” *Scirpus americanus*, donde se cuantificó la cantidad de carbono almacenado con la finalidad de conocer el potencial de captura del CO₂ de estas especies características de los humedales y de esta manera conocer la pérdida de estas reservas de carbono al quemarlos o cambiarlos de uso para fines agrícolas o urbanos. Esta característica de capturar carbono se da en la biomasa parte aérea, radicular y en el suelo. En cada una de estas especies se establecieron al azar cinco transectos donde se tomó las muestras de flora dentro de estos transectos se establecieron cuadrantes también al azar para cuantificar la biomasa herbácea de los Humedales de Puerto Viejo.
- Jiménez, *et al*, (2008), en el estudio “Capacidad de Captura de Carbono en Ecosistemas Mixtos en el Estado de Tamaulipas” describe que los bosques y selvas son los almacenes de carbono más importantes del mundo y los responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración. La Reserva de la Biosfera “El Cielo”, localizada al sur del Estado de Tamaulipas, participa con grandes extensiones de distintos tipos de vegetación; este estudio tiene como objetivo principal evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono en tres ecosistemas: Bosque Tropical Subcaducifolio, Bosque Mesófilo de Montaña y Bosque de

Pino-Encino, mediante elementos arbóreos y/o arbustivos. Además, se determinó la distribución del carbono almacenado en la parte aérea. El muestreo se realizó en sitios de 1000 m², fraccionado en cuatro cuadrantes de 250 m². En el cuadrante I se midieron los árboles, arbustos y renuevos. La necromasa se pesó en una parcela interior de 25 m².

En los cuadrantes II, III y IV se evaluaron los individuos con un diámetro a 1,3 metros mayor a 5 cm y se pesó en cada cuadrante la hojarasca localizada en 1 m². Para determinar la cantidad de biomasa se generaron ecuaciones alométricas por especie.

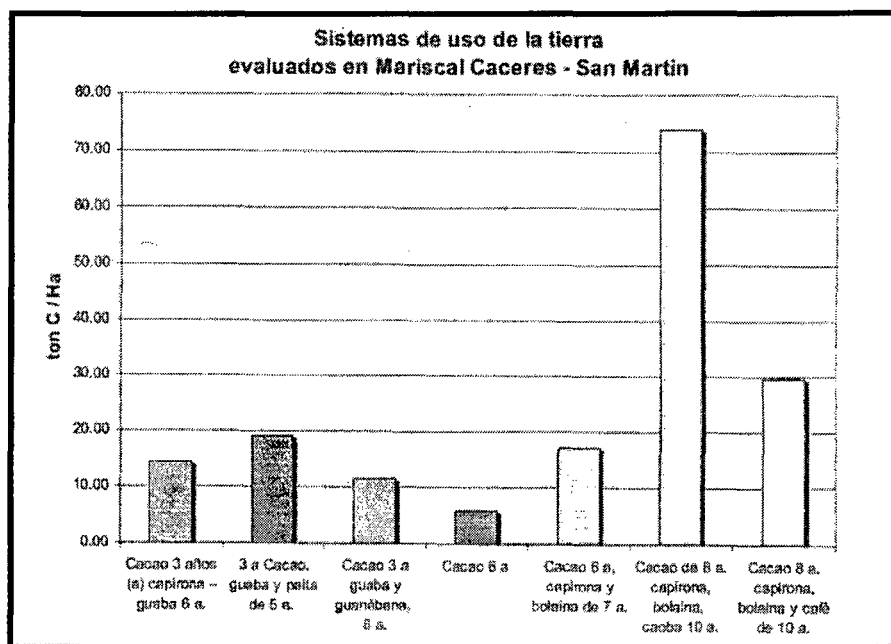
La biomasa de la hojarasca, necromasa y renuevos se estimó con el peso seco obtenido de submuestras en cada ecosistema. El contenido de carbono se midió con el equipo **solids TOC analyzer** para las especies arbóreas de los distintos ecosistemas arbóreas. Utilizó el factor de conversión de carbono de 0,5 que contiene la biomasa seca.

El bosque de pino-encino almacenó en promedio 69,8 TonC/ha en fustes, ramas, hojas, regeneración y hojarasca. En esos mismos componentes, el bosque tropical subcaducifolio almacena en promedio 66,1 TonC/ha, mientras que el bosque mesófilo de montaña 57,7 TonC/ha en árboles y arbustos. La superficie de muestreo de los tres ecosistemas corresponde al 21,5% del total del área natural protegida.

En esta superficie se almacenan más de 1 303 477,52 TonC. La mayor proporción se ubica en el fuste, ramas y hojas (79.6%), en las raíces se localiza el 11,8%, en la hojarasca se almacena el 7,8%, mientras que en la necromasa y regeneración se encuentra sólo el 0,4 y 0,5% respectivamente del carbono total de los tres ecosistemas.

- Larrea (2007), determinó las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L., en la Provincia de Mariscal Cáceres – San Martín. Obteniendo la siguiente figura:

Fig. N°01: Carbono almacenado bajo diferentes sistemas con cacao



Fuente: Larrea, 2007

Donde se puede apreciar que el sistema de cacao de 8 años, con capirona, bolaina y caoba de 10 años de edad, acumuló 73,797 TonC/Ha, dicho cacao tuvo un distanciamiento de 3 x 3m y los árboles de sombra presentaron un distanciamiento de 9x9 m.

Estos sistemas agroforestales prestaron mucha biomasa en forma de hojarasca para el abonamiento del cultivo principal que es el cacao lo que ayudó mucho a la resistencia a enfermedades propias de la especie. Así mismo el sistema de Cacao de 8 años, capirona y café de 10 años acumuló 29,61 Ton C/ha; el cacao con un distanciamiento de 3 x 3m y las especies de sombra con un distanciamiento de 9 x 9m.

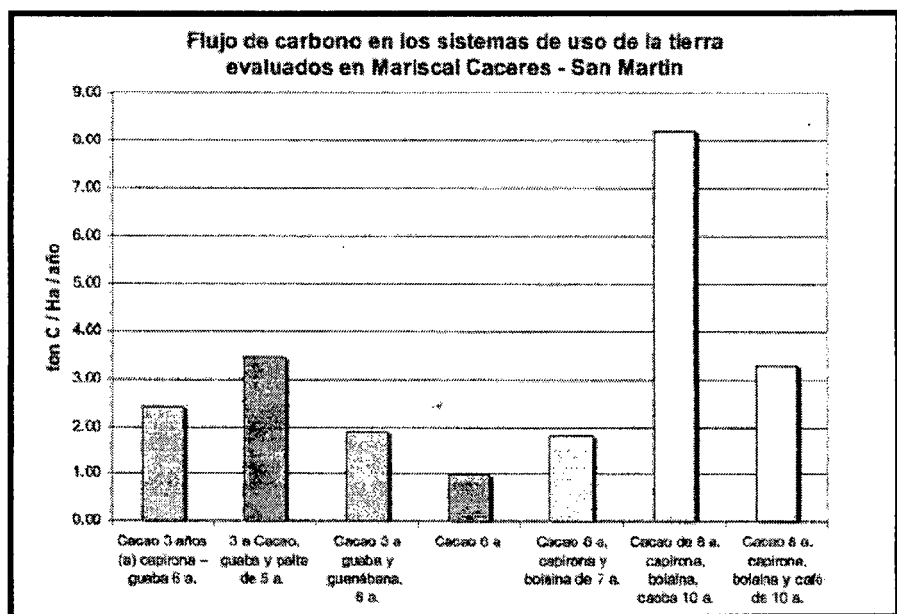
Como último se tuvo la menor cantidad de C capturado en el sistema de Caco de 6 años con un distanciamiento de 6 x 6m, almacenando 5,95 Ton C/ha; este sistema presentó poca hojarasca, debido a la poca densidad del cacao y a la ausencia de especies de sombra permanente. También se notó presencia de suelo erosionado por la escasa cobertura vegetal.

Los Flujos de Carbono se calcularon dividiendo la biomasa de carbono almacenado entre la edad del sistema, de esta forma se expresa la

dinámica de la acumulación de carbono. Cabe destacar que la Comunidad Internacional, considera los flujos reales de carbono almacenado cada año (expresados en CO₂/ha/año), para el otorgamiento de créditos por este servicio ambiental del bosque.

Los flujos de carbono para cada uno de los sistemas, fluctuaron desde 0,99 a 8,02 Ton C/ha/año; el sistema de cacao con capirona, bolaina y caoba presentó flujos de 8,03 Ton C/ha/año seguido por el sistema de cacao de 3 años con guaba y palta con 3,45 Ton C/ha/año. Cuando se diversifican más los sistemas, estos flujos aumentan y cuando se diversifican menos estos son bajos, así como lo encontramos en el sistema de cacao sin sombra que sólo aportó 0,99 Ton C/ha/año tal como se aprecia a continuación:

Fig. N°02: Flujo de Carbono bajo diferentes sistemas con cacao



Fuente: Larrea, 2007

- Catpo (2004), en su investigación “Determinación de la Ecuación Alométrica de *Pinus patula* y Estimación del Contenido de Carbono en su Biomasa Arbórea en Porcón, Cajamarca-Perú”.

Los objetivos de su trabajo fueron: obtener una función que refleje el contenido de C/ha existente en la biomasa arbórea total de la plantación de *P. patula*; generar una metodología viable para la medición de carbono capturado y generar ecuaciones matemáticas regresionales que calculen la cantidad de C en un árbol de *P. patula* a partir de variables aéreas fácilmente mensurables.

Para esto realizó las siguientes etapas:

- Seleccionó la plantación a estudiar
- Seleccionó el tamaño de la muestra (utilizando 31 individuos, previa evaluación de diámetro y altura).
- Estableció las parcelas y seleccionó los árboles a tumbar (2 parcelas de 250m² en cada Ha).
- Los árboles cortados fueron medidos y desramados para luego secar las muestras a 103 ± 2°C y así hallar el contenido de Humedad.
- Con los datos obtenidos se elaboraron ecuaciones de biomasa arbórea total de *Pinus patula* y la ecuación de carbono capturado a través de herramientas informáticas como el SAS y SPSS versión 10.0.7.

Los Resultados obtenidos fueron los siguientes:

- a) Contenido de Humedad (CH). fluctuó entre 23,6% (conos) y 61,7 (acículas) con un promedio de Humedad por árbol de 51,68%.
- b) Se estimó el porcentaje de biomasa promedio para cada uno de los componentes del pino.
- c) Ecuaciones de biomasa. Las 3 mejores ecuaciones son
 - Biomasa aérea total = a -b(DAP) + c(DAP²)
 - Biomasa aérea total = a x e^{b(DAP)}

➤ Biomasa aérea total = a x (DAP)^b

- d) Estimado de biomasa / ha de *Pinus patula*. Se estimó que existían 629 árboles por Ha., con 154 Kg. de biomasa cada uno haciendo un total de 97,25 Ton de biomasa/ha.
- e) Estimación del stock del C para el área cubierta de *Pinus patula* entre 17 y 19 años de edad. El área total es de 196 ha; con un total de 9530,59 Ton C. Lo cual convertido a CO₂ es: (12/44)*9530.59 = 2599,25 Ton capturadas de CO₂ y convertido a biomasa aérea (madera, ramas, cono y acículas) de *Pinus patula*.
- Lapeyre (2003), desarrolló la tesis titulada “Determinación de las reservas de Carbono de la Biomasa Aérea, en diferentes sistemas de uso de la Tierra en San Martín”, donde la finalidad fue conocer el potencial de captura de éstos sistemas, compararlos con otros sistemas de la selva peruana y observar la pérdida de éstas reservas de carbono al desboscar áreas para la realización de cultivos agrícolas.

Se determinaron las reservas en sistemas de bosque primario, secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas típicos de la zona (Maíz, arroz y pastos) y en sistemas agroforestales (café bajo sombra y cacao), en cada uno de éstos sistemas estableció al azar cinco transectos donde evaluó la biomasa arbórea; dentro de estos transectos se establecieron cuadrantes también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca.

El carbono total determinado en bosque primario fue de 485 Ton C/ha, superando ampliamente a las reservas de carbono del bosque secundario de 50 años de 234 Ton C/ha y al sistema de bosque descremado de 20 años que contó con 62 Ton C/ha. Se observó que los sistemas boscosos alterados, difícilmente recuperan sus reservas de carbono y mucho más si son frecuentemente perturbados, como se observó en el bosque secundario de 20 años.

El nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales. Así mismo se constata que la dispersión en los datos de sistemas boscosos no perturbados es mucho mayor que aquellos perturbados y más que sistemas agroforestales y agrícolas.

Los sistemas agroforestales presentaron 19 y 47 Ton C/ha, dependiendo de la cantidad de especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo; éstos sistemas que si bien no llegan a tener las reservas de carbono de los sistemas boscosos naturales, ayudan a recuperar en algo el potencial de captura, ya que los sistemas agrícolas puros no llegan a capturar ni 5 Ton C/ha, además los sistemas agrícolas pueden generar fugas de gases de efecto invernadero cuando hacen uso de agroquímicos, quema de rastrojos, entre otros.

- Alegre, *et al.* (2002), realizaron un estudio sobre secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú, donde se evaluaron reservas de carbono y el flujo de carbono en un rango de diferentes sistemas de uso de la tierra que van desde foresta natural hasta sistemas intensivos, de cultivos y sistemas agroforestales principalmente en suelos ácidos de los trópicos húmedos del Perú y suelos alcalinos, orgánicos de la Sierra del Perú. Las dos regiones del Perú presentan diferencias significativas en cuanto a clima y suelos. En Yurimaguas y Pucallpa los suelos fueron Ultisoles de baja fertilidad y alta saturación de aluminio y en la sierra los suelos son Entisoles y Mollisoles de altos contenidos de Ca y Mg y materia orgánica. La foresta y los barbechos antiguos tuvieron los contenidos más altos de carbono en Yurimaguas y Pucallpa y en Cajamarca las plantaciones de Pinos y Eucaliptos. El nivel de carbono en todos los sistemas manejados es más bajo que el de los bosques naturales. Entre los sistemas manejados el contenido de carbono en los sistemas perennes con árboles fue más alto y fluctuó desde 80 ton/ha para los sistemas de café y huertos familiares hasta 230 ton/ha para las plantaciones de *Amburana* y *Cedrelinga*. En Pucallpa los suelos

presentaron mayores reservas de C en la biomasa aérea que en el suelo mientras que en Cajamarca se presentaron mayores reservas de carbono en los suelos principalmente bajo condiciones de uso intensivo con cultivo o pastura naturales.

El flujo anual de carbono fue mayor bajo plantaciones perennes de largo plazo que bajo sistemas de árboles en ciclos cortos como los barbechos mejorados y estos fluctuaron desde 4 hasta 11 ton/ha/año. Las comunidades organizadas pueden generar con un manejo adecuado de los sistemas de uso de la tierra con plantaciones agroforestales o perennes de ciclo corto o largo, niveles económicos altos dependiendo de la extensión manejada.

- Ordoñez (2001), en la investigación “Captura de Carbono ante el Cambio Climático” menciona que las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo y silvicultura, están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), clorofluorocarbonados (CFC's), óxidos de nitrógeno (NO_x) y metano (CH₄), principalmente, siendo el CO₂ uno de los GEI más importantes por las grandes cantidades en las que se emite. La vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos, a través de la fotosíntesis. Es por esta razón que los bosques son importantes sumideros de carbono. el objetivo es describir el proceso de captura de carbono en los ecosistemas forestales y su relación con el cambio climático.
- Gamarra (2001), estimó el Contenido de Carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el departamento de Junín – Perú.

La metodología utilizada fue desarrollar un inventario de diámetros y alturas de árboles en parcelas de medición, con medidas adicionales de maleza, hojarasca y suelo. El inventario partió de un muestreo sistemático estratificado con equidistancias entre sitios de 250m,

levantándose un total de 45 sitios cuadrados concéntricos de 625 m², cada uno, en el estrato I, y 15 en el estrato II, el procedimiento señalado representó una intensidad de muestreo 2%. Para obtener los valores de biomasa se utilizaron ecuaciones de biomasa generales (no específicas para el país). El total de carbono estimado tuvo un rango de variabilidad de ± 15 TonC/Ha. Los resultados obtenidos son de: Biomasa arriba del suelo 73.03 tC/ha; Biomasa abajo del suelo 21.64tC/ha, Hojarasca 4,99tC/Ha y suelos 37,39 TonC/ha, en total 137,05 tC/Ha.

Asimismo, para determinar la fijación anual de carbono por crecimiento de la masa forestal se obtuvo la tabla de incremento del género *Eucalyptus*, el cual implicó un análisis detallado del estudio dasonómico conducido en la comunidad (Rodríguez, Quispe, 1997). El cual determinó un incremento Medio Anual (IMA) de 7,96 m³/ha/año. Los resultados obtenidos muestran un estimado de fijación de carbono de 7,25 TonC/Ha/año, representando 26,61 toneladas de fijación de dióxido de carbono.

- Sánchez (1996), en su estudio “Acumulación de la Biomasa Aérea y Leña en Rodales Naturales del Pashaco *Parkia igneiflora* Ducke (Leguminosae) en la Región de San Martín – Perú”; estableció dos rodales I y II con 56 y 58 árboles respectivamente en donde realizó un muestreo destructivo distribuido en tres fases de crecimiento latizal alto, fustal y árboles maduros cada árbol fue volteado, trozado y separado en los componentes corteza y madera del fuste, follaje y ramas de la copa, obteniendo sus pesos secos. Mediante una combinación de los métodos de cosecha y alométricos se estableció que la biomasa aérea y leña total acumulada para el Rodal I fue de 210,1 Ton/ha; de las cuales 84,7% corresponde a fustes (5% corteza y 79,7% madera) y 15,3% a copas (1,8% follajes y 13,5% ramas). En el Rodal las fases de crecimiento: latizal alto, fustal y arboles maduros aportan 11,2%, 6,3% y 42,5% respectivamente de la biomasa total. El Rodal II tiene 458,5 ton/ha; de ellas el 82,9% contribuyen los fustes (3,6% corteza y 79,3% madera) y 17,3% las copas (1,3% follaje y 15,8% ramas). Las fases de crecimiento

latizal alto, fustal y árboles maduros aportan con 9,1%, 46,4% y 44,5% respectivamente. Los rendimientos de leña seca estimada para los bosques del Pashaco fue de 206,8 ton/ha (175,2 ton/ha fustes y 31,6 ton/ha ramas) para el rodal I, y 453,0 ton/ha (373,4 ton/ha fuste y 79,6 ton/ha ramas) para el rodal II. El incremento medio anual de leña seca de ambos rodales fue de 37,7 ton/ha/año y 44,8 ton/ha/año respectivamente.

Antecedentes de Maronales en el Alto Mayo

Según el documento Gestión Comunitaria del Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” realizado por el PEAM en febrero del 2009; el Alto Mayo cuenta con aproximadamente 300 hectáreas de manchales naturales de marona (*Guadua spp.*), debido principalmente a que las condiciones climáticas y edáficas existentes son favorables para su desarrollo. Sin embargo, a la fecha más del 70% de estos manchales naturales han sido sobre explotadas y sólo quedan pequeñas áreas en las comunidades nativas del Alto Mayo, El Dorado, Morroyacu, Shampuyacu, Yarau y en el centro poblado de Atumplaya, que sumando llegan a 50 hectáreas.

En 1985, el Ministerio de Agricultura, a través de la Oficina de Reforma Agraria y el Proyecto Especial Alto Mayo, realizaron la titulación de tierras, adjudicando 360,19 hectáreas y reservando 22 hectáreas para uso de la población de Atumplaya, divididas en tres lugares. Una de ellas, 8 hectáreas, fue lo que la población llamó “El Maronal”; luego las otras dos áreas, 8 y 6 hectáreas fueron cañaverales. Sin embargo, en el año 1998, el Ministerio de Agricultura, a través del Proyecto Especial de Titulación de Tierras (PETT), al volver a adjudicar tierras, solo encontró 7,9 hectáreas del llamado “El Maronal”.

Información de las autoridades y ancianos del Centro Poblado de Atumplaya, manifiestan que los primeros pobladores encontraron “El Maronal” con una extensión entre 15 y 20 hectáreas.

Durante los primeros meses del año 1999, la ONG Intermediate Technology Development Group (ITDG), en el marco de la ejecución del Proyecto

“Conservación y Manejo Comunitario de Bosques Tropicales en el Alto Mayo”, delimitó 7,9 hectáreas del denominado “El Maronal”, para realizar actividades de manejo y aprovechamiento sostenible, sustentada en el Contrato de Extracción Forestal, otorgado por el INRENA con el N° 001 - 99, antes de la vigencia de la Ley actual N° 27308.

A partir del año 2001, el Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM) a través de la Dirección de Manejo Ambiental, ejecuta el proyecto Plan de Acción Ambiental para las Zonas de Amortiguamiento del Bosque de Protección Alto Mayo (margen izquierda del río Mayo), cuyo objetivo es *“Asegurar la protección de los recursos naturales y la diversidad biológica de una manera sostenible, dentro de un marco que favorezca las actividades de particulares en la margen izquierda del río Mayo”*; se viene promoviendo la creación de conciencia y la organización de la población de Atumplaya, para facilitar la gestión de “El Maronal”.

Para lo cual, el PEAM realizó el saneamiento físico legal del Área en convenio con el PETT y se organizó a la población para realizar tareas de control y vigilancia del área, a través de un grupo rotativo de 06 Guardabosques, los mismos que recibían como incentivo una canasta de alimentos.

En el 2004, el PEAM, facilitó la elaboración del Expediente Técnico Justificadorio de “El Maronal” y de esta manera se da inicio al proceso de Establecimiento y Otorgamiento en Administración del Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”, por parte de la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre de San Martín; a iniciativa de la población del centro poblado de Atumplaya. Procedimiento aprobado mediante la Resolución Jefatural N°042-2003-INRENA y Resolución de Intendencia N°124-2003-INRENA-IFFS, en concordancia con lo estipulado en la Ley N°27308 - Ley Forestal y de Fauna Silvestre, aprobado por Decreto Supremo N° 014-2001-AG.

- **ESTABLECIMIENTO DEL BOSQUE LOCAL “EL MARONAL DE ATUMPLAYA”**

Sobre la base de lo que indica el numeral 3.4 del artículo 3° de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre dada por Ley N° 27308, se dispone que el Instituto Nacional de Recursos Naturales-INRENA, es el órgano encargado de la gestión y administración de los recursos forestales y de fauna silvestre a nivel nacional. Así mismo, el artículo 8° de la referida ley establece, como parte del ordenamiento forestal del país, que los bosques locales son los que otorga el INRENA de acuerdo al reglamento, mediante autorizaciones y permisos a las poblaciones rurales y centros poblados para el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales.

El INRENA, a través de la Resolución Jefatural N°042-2003-INRENA aprueba: las Disposiciones Complementarias para el Establecimiento y Otorgamiento en Administración de Bosques Locales a Poblaciones Rurales y Centros poblados, los términos de referencia del Plan General de Manejo Forestal y Plan Operativo Anual de Bosques Locales, modelo de Permiso o Autorización para el Aprovechamiento Forestal en Bosques Locales, el modelo de Guía de Transporte Forestal y Lista de Trozas, y facultar a los Administradores Técnicos Forestales y de Fauna Silvestre a establecer bosques locales y otorgarlos en administración a poblaciones rurales y centros poblados.

Los bosques locales se destinan fundamentalmente para satisfacer las necesidades directas (autoconsumo y estructura social) de las poblaciones rurales, mediante el aprovechamiento forestal sostenible de los recursos forestales, pudiéndose realizar también dicho aprovechamiento con fines industriales y/o comerciales en pequeña escala. Los mismos son establecidos por los Administradores Técnicos Forestales y de Fauna Silvestre, a iniciativa de poblaciones rurales o centros poblados debidamente reconocidos por la municipalidad distrital correspondiente. Además, aprueban los planes de manejo forestal de los bosques locales establecidos y suscriben los contratos de administración respectivos.

- **CAPACIDAD DE USO MAYOR DE SUELOS**

Según el Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras del Valle del Alto Mayo (2002), se describe en detalle las diferentes tierras identificadas en el área, a nivel de Grupo, Clase y Subclase de Capacidad de Uso Mayor de los suelos del Alto Mayo. Adicionalmente, se presenta la superficie y porcentaje de las tierras correspondientes al Área de Estudio.

En “El Maronal” de Atumplaya de acuerdo a esta investigación el tipo de suelo predominante es de tipo “A2si” el cual se detalla párrafos inferiores.

Tierras Aptas para Cultivo en Limpio (A)

Está conformada por tierras que presentan las mejores condiciones: edáficas, topográficas y climáticas de la zona para el establecimiento de cultivos anuales o de corto periodo vegetativo adaptadas a las condiciones ecológicas de la zona. Se ubican tanto en terrazas bajas, medias y altas, así como en lomadas y laderas suaves de Colinas, de relieves planos a fuertemente inclinados. Comprende una superficie aproximada de 97 436,47 Has., equivalente al 35,83% del área del Alto Mayo.

Dentro de este grupo se ha reconocido la siguiente clase de Capacidad de Uso Mayor: A2.

Clase A2

Está conformada por tierras de calidad agrológica media, apropiada para la explotación agrícola intensiva, con prácticas moderadas de manejo de conservación de suelos. Comprende suelos profundos a muy profundos, de relieves planos a moderadamente inclinados con moderadas limitaciones de orden edáfico y/o por inundabilidad. Abarca una superficie 54 776,08 Has., equivalente al 20,14% del área total evaluada. Se ha determinado la subclase: A2s.

Subclase A2s

Está conformada generalmente por suelos: profundos a muy profundos, de textura media a moderadamente fina y eventualmente media a moderadamente fina sobre moderadamente gruesa, generalmente bien drenados. Su limitación de uso, está vinculada solo al factor edáfico.

Conforman esta subclase Suelos de la Serie: Angaínsa, Avisado, Melanio, Morroyacu y Yrao, en sus fases plana o casi a nivel y ligeramente inclinada; así también Suelos de las Series: Caña Brava y Yrao, en su fase moderadamente inclinada.

Abarca una superficie 32 652,06 Has., equivalente al 12,01% del área total evaluada.

Limitaciones de Uso

Las limitaciones más importantes de carácter edáfico, están expresadas por:

- Fertilidad natural media de los suelos en su capa superficial, presentando contenidos medio de materia orgánica y fósforo disponible y medio a alto en potasio disponible, lo que indica moderada deficiencia de nutrientes.
- Reacción extremadamente ácida en algunos suelos (Series: Angaísa y Avisado), con contenidos de Aluminio cambiante, de alrededor de 20 - 50 %.

Subclase A2si

Está conformada generalmente por suelos: profundos, de textura media sobre moderadamente fina, de drenaje bueno ha moderado, relieve plano a reacción neutra a alcalina. Las limitaciones de uso, está vinculada al factor inundabilidad (en este caso ligera).

Conforman esta subclase los Suelos de la Serie: Alto Mayo, Carañal, San Rafael y Amalia, en sus fases: por inundación ligera; y de pendiente: plana o casi a nivel. Abarca una superficie 19 169,96 Has., equivalente al 7,05 % del área total evaluada.

Lineamientos de Uso y Manejo

El uso adecuado de estas tierras exige un plan de cultivos, de manera tal que estos no sean afectados por la inundación, lo cual se logra mediante la implantación de cultivos de ciclo vegetativo corto; la incorporación de materia orgánica propiciará la mejora de las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Asimismo, para mantener el nivel de fertilidad, se recomienda la aplicación de los fertilizantes naturales, rápidamente asimilables.

Teniendo en cuenta, que las inundaciones implican procesos de deposición y arrastre de materiales en suspensión, la aplicación de fertilizantes de efecto residual, puede no ser conveniente, por lo que es necesario tener presente este aspecto.

También es conveniente proteger las áreas ribereñas, de la erosión lateral de los ríos, mediante la implantación de especies protectoras en las ribereñas deforestadas o preservando la vegetación natural en aquellas aún no intervenidas. Este tipo de suelos es adecuado para la plantación de cultivos como la Marona y caña brava, los cuales además de generar producción forestal protege las zonas adyacentes al río Mayo.

- **ÁREAS DE PRODUCCIÓN Y APROVECHAMIENTO**

De acuerdo a PDRS-GTZ, en su estudio “Cadena de Valor de la Marona 2007”, la referencia más cercana que se posee sobre el inventario de plantaciones de marona en el Alto Mayo es de 285 Has., y se encontró que esta área provee alrededor de 81 895 cañas/año. Ver Cuadro N°02.

La producción de marona en el Alto Mayo se lleva a cabo en territorios de comunidades nativas Aguaruna, fincas agrícolas y un bosque local de 8 Has., que posee plan de manejo que incluye prácticas silviculturales, planes de extracción y vocación plenamente empresarial.

Los maronales se concentran en las comunidades nativas (276 Has.), los mismos que carecen de manejo completo, solo se les practica una extracción desordenada de marona; seguido el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” y pequeñas áreas de productores.

La especie más comercial en el corredor norte es la caña Guayaquil (*Guadua angustifolia*) y en el Alto Mayo la especie que más se desarrolla es la marona (*Guadua spp.*)

A la fecha los principales problemas que se identifican en la etapa de la silvicultura son: el escaso manejo de maronales naturales, la baja cobertura de maronales plantados con criterio comercial, y un insuficiente sentido de pertenencia y desconocimiento por parte de los propietarios sobre el manejo de la marona como negocio.

Estas zonas representan la mayor importancia comercial para el eslabón producción de materia prima y reportan el mayor impacto socioeconómico por esta actividad.

Este eslabón vende la materia prima, principalmente a transformadores (intermediarios y comerciantes mayoristas); estos reciben el producto en pie, y lo cosechan ellos mismos por requerimientos específicos de calidad y por obtener menor precio.

Las principales barreras que impiden que este eslabón juegue un rol eficiente en la cadena son la carencia de información técnica sobre cosecha de la marona, sobre clientes y sobre la cadena productiva.

Cuadro N°02: Principales Productores de Marona en el Alto Mayo

Extractor/Productor	Área Total (Has.)	Área Aprovechamiento/año (Has.) 2007	Unidades de marona/año 2007	Aprovechamiento Promedio 2007* (Has.)
COMUNIDADES NATIVAS				
CCNN El Dorado	11,5	11,5	21 500	1 870
CCNN Yarau	228,60	57	40 310	707
CCNN Shampuyacu	15,67	15,67	16 885	1 078
CCNN Morroyacu	20	**	**	**
CCNN Alto Mayo	**	**	**	**
CCNN Huascayacu	**	**	**	**
COMITÉ DE PRODUCTORES				
Bosque local "El Maronal de Atumplaya"	8	1,38	700	507
PRODUCTORES INDIVIDUALES				
20: Rioja, Yuracyacu, Nva Cajamarca, Calzada, Segunda Jerusalén	1	1	2 500	2 500
TOTAL	284,82	86,55	81,895	946

Fuente: Gestión Comunitaria del Bosque Local El Maronal de Atumplaya, PEAM e INRENA.

* Vara de marona entera

** No se tiene información

1.3.2. Bases Teóricas

- **Descripción General de la especie**

Nomenclatura

La *Guadua spp.*, es una especie con la siguiente clasificación sistemática:

Reino	:	Vegetal
División	:	Spermatophyta
Sub-división	:	Angiosperma
Clase	:	Monocotiledoneae
Orden	:	Glumiflorales
Familia	:	Poaceae

Sub-familia	:	Bambusoideae
Tribu	:	Bambuseae
Sub-Tribu	:	Guaduinae
Género	:	<i>Guadua</i>
Especie	:	<i>spp.</i>
N. Común	:	Marona, bambú, guayaquil

Descripción botánica

A continuación describiremos las características morfológicas y anatómicas más representativas del género *Guadua*, haciendo énfasis en la lámina foliar y el culmo.

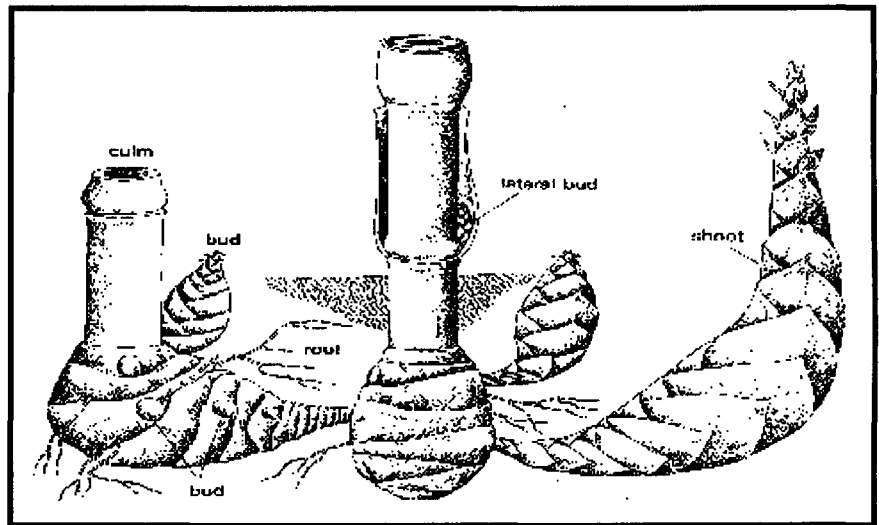
- Rizoma

La *Guadua* posee rizomas paquimorfos (Figura N°03); esencialmente están compuestos por dos partes: el cuello que es una porción estrecha entrenodal que no posee yemas y propiamente el rizoma donde las yemas están presentes en los nudos.

El cuello del rizoma es elongado con geotropismo positivo, por lo que primero crece hacia abajo desde el verdadero rizoma formando estructuras que asemejan puntales, antes de dar salida a otro rizoma fusiforme, protuberante y pequeño (Young y Judd 1992).

Este sistema rizomatoso de crecimiento simpodial tiene tres componentes: el rizoma, las raíces y las raicillas adventicias. Mientras que la yema apical termina originando un tallo aéreo. Las yemas laterales continúan el crecimiento del rizoma repitiendo el mismo sistema de ramificación. Este patrón de crecimiento es muy agresivo lo que hace que los rodales de *Guadua* sean muy densos (Giraldo y Sabogal 1999).

Fig. N°03: Rizoma paquimorfo



Fuente: Recht y Wetterwald, 1988

- **Renuevos**

Una vez formado el rizoma se inicia la fase de renuevo; el cual siempre emerge con un diámetro de tallo definido, debido a que no posee células de cambium o procambium que diferencien sus tejidos hacia fuera haciéndolo engrosar. Durante los primeros 30 días alcanza 4 a 6 centímetros de altura en 24 horas, el 60% de este crecimiento es durante la noche; después de los 90 cm de altura el promedio de crecimiento es de 9 a 11 centímetros por cada 24 horas. Está cubierto completamente por hojas caulinares (Foto N°01).

De hecho el rebrote temprano se caracteriza por la ausencia de ramas basales y apicales, y por la presencia de hojas caulinares que cubren los nudos a lo largo de toda su extensión. En ésta fase la resistencia mecánica del tallo es mínima.

Foto N°01: Renuevo o Brote



Fuente: Propia, 2008.

El crecimiento longitudinal de los tallos inicia con la elongación completa y sucesiva de los entrenudos, comenzando por el inferior y finalizando por el más apical; sólo se inicia la formación de un nuevo entrenudo cuando el inmediato anterior está definido.

Desde que emerge del suelo hasta que alcanza su máxima altura tarda aproximadamente seis meses; posteriormente el tallo monopodial detiene su crecimiento, comienza el desprendimiento de las hojas caulinares y las yemas nodales se activan dando paso a la formación de ramas basales y apicales.

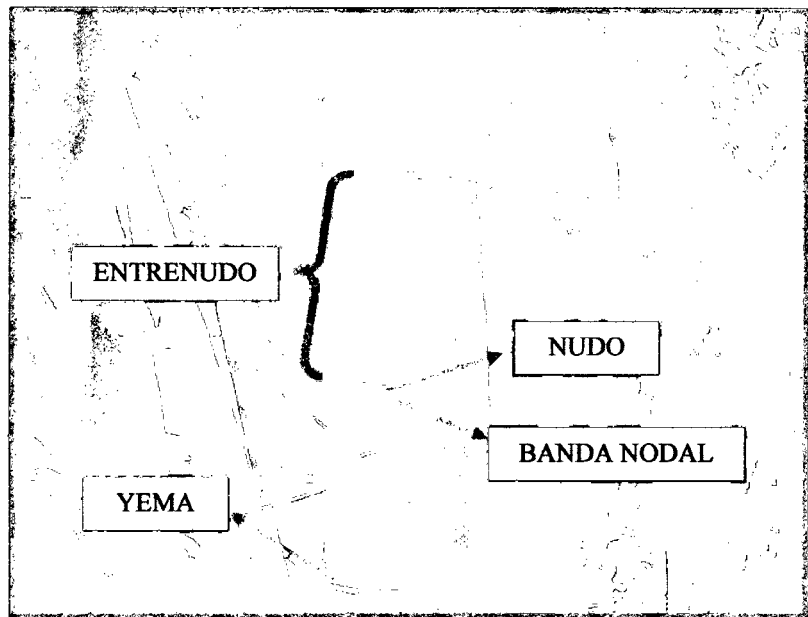
- **Culmo entre nodal y nodal**

Los culmos entrenodales de *Guadua* difieren de las otras especies de su género principalmente en el diámetro, largo y grosor de las paredes; los de esta especie tiene los diámetros medianos (9 – 16 cm.) y paredes de gran grosor, con entrenudos basales que se

caracterizan por ser no tan cortos y de pared gruesa. El lumen está generalmente lleno de agua potable. Pelos deciduos cubren la superficie en una densidad variante desde usualmente esparcidos hasta completamente ausentes (Young y Judd 1992).

El nudo no difiere significativamente entre las especies de Guadua. El interior de la pared nodal puede ser convexa u horizontal y varía según el diámetro del culmo (Young y Judd 1992). Las partes de un culmo o tallo de guadua se muestran en la Foto N°02.

Foto N°02: Partes del tallo de guadua

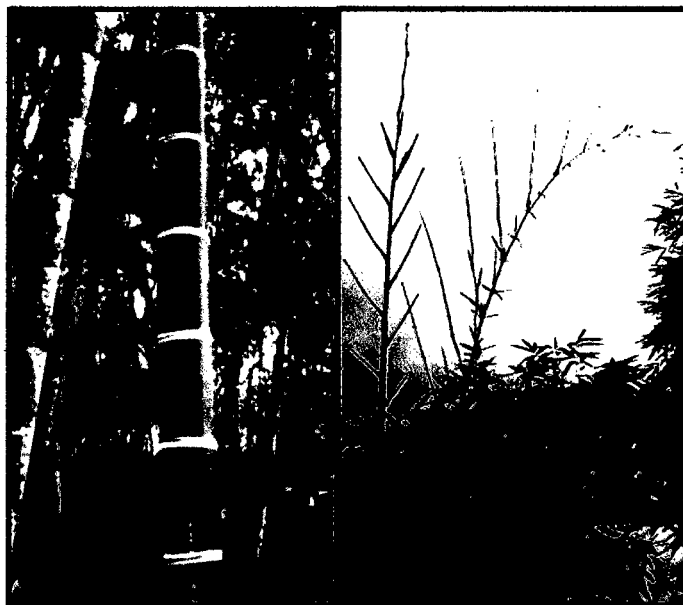


Fuente: Propia, 2008.

A través del tallo se destacan dos partes importantes: los nudos y los entrenudos. El nudo es el área del tallo donde crecen ramas con hojas a partir de una yema nodal. Los entrenudos son cilíndricos y tienen un promedio de 40 cm de longitud, el diámetro entre 10 y 12 centímetros y las paredes con grosores entre 1 y 2 centímetros, su textura es dura y consistente.

El crecimiento del culmo es ascendente o erecto, con dirección vertical y con alguna tendencia oblicua en su parte apical; en condiciones ambientales normales alcanza entre 18 a 22 metros de longitud promedio (Giraldo y Sabogal 1999).

Foto N°03: Crecimiento ascendente o erecto con dirección vertical de un culmo de *Guadua spp.*, obsérvese la tendencia oblicua en su parte apical



Fuente: Propia, 2008.

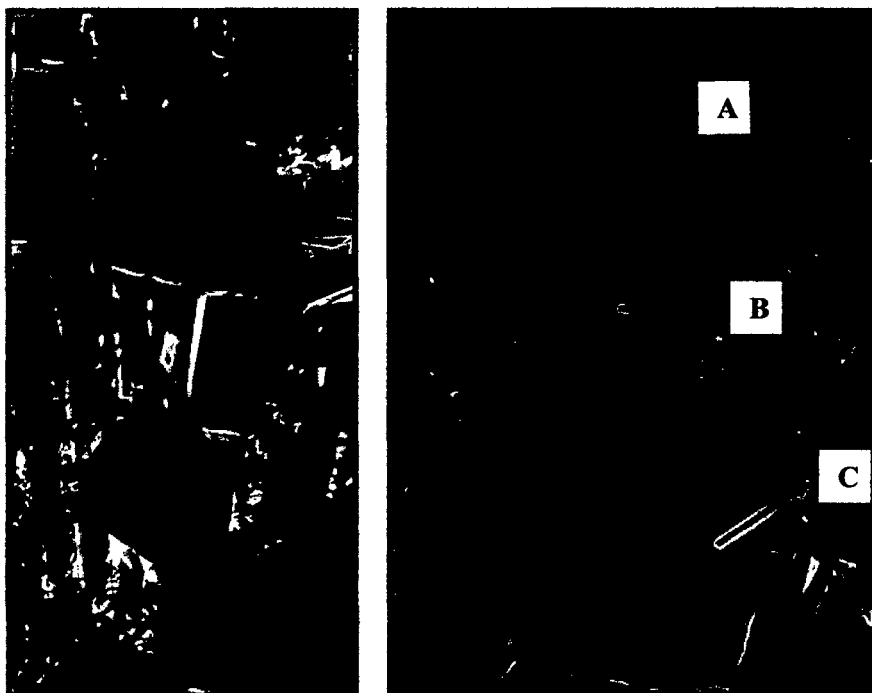
- **Brácteas del culmo y ramas**

Las brácteas son útiles para separar taxa; rodean y protegen los culmos de desarrollo reciente y son caducas (Young y Judd 1992). Las brácteas son hojas modificadas que se caracterizan por su fuerte consistencia coriácea, de forma triangular, y protegen las yemas. Se encuentran en el rizoma, en el tallo durante los primeros estadios del desarrollo y en las ramificaciones de la planta donde existen nudos con yemas. Su dimensión es variable según la edad y la parte de la planta donde se desarrollen; son deciduas en el extremo superior y se desprenden fácilmente desde la base (Giraldo y Sabogal 1999).

Las brácteas culmonares permanecen adheridas al nudo por su parte inferior y se desprenden una a una después de 45 días de emerger el renuevo o el rebrote; las brácteas de las ramas protegen las yemas axilares, se desprenden después de 15 días para dar paso a prefoliaciones o a las espigas nodales.

Morfológicamente la bráctea está compuesta por la vaina (que es la parte amplia proximal que se adhiere al nudo) y por la lámina, ambas se conectaban por medio de la lígula (Giraldo y Sabogal 1999). Ver Foto N° 04.

Foto N°04: Partes de una bráctea del culmo de *Guadua spp.*: a) lámina, b) lígula, c) vaina



Fuente: Propia, 2008.

- **Lámina y vaina de la hoja**

La lámina es simple, lanceolada con ápice acuminado, bordes finamente aserrados, con pubescencia simple, aislada y no persistente sobre el haz y el envés; tiene nervaduras longitudinalmente dispuestas paralelas a la nervadura central. La longitud promedio es de 15 a 20 cm., y el ancho entre 2 a 5 cm. Dentro de una planta, a través del ciclo de vida su tamaño es muy variable (Young y Judd 1992). En el estado juvenil las hojas no son completamente lanceoladas y son más grandes, de color verde oscuro lustroso y se tornan verde pálido al final de su ciclo de vida.

Una vez que la lámina se marchita es persistente, o sea no se cae. La prefoliación es involuta; filotáxicamente las hojas en las ramas son alternas, una en cada nudo, son persistentes tanto en las ramas superiores e inferiores (Giraldo y Sabogal 1999).

Foto N°05: Hojas de la *Guadua* spp.



Fuente: Propia, 2008.

- **Ramas**

El patrón de ramificación no varía significativamente dentro de *Guadua* (Young y Judd 1992), la disposición de las ramas a través del culmo es alterna (Giraldo y Sabogal 1999).

La rama principal se desarrolla desde una yema individual en el nudo o yema nodal (Foto N°06), el desarrollo de las ramas inferiores siempre varía. Los grupos de nudos cercanos a la base de las ramas contienen yemas inactivas o que pueden producir una o dos ramas secundarias, donde las ramas más bajas siempre producen espinas, mientras que las superiores podrían tenerlas o no.

La rama principal puede producir una gran espina o puede emitir nuevas ramificaciones, y producir de una a cuatro espinas adicionales en la base (Young y Judd 1992).

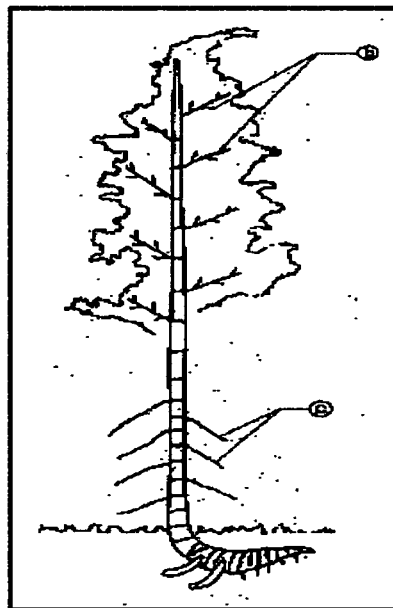
Foto N°06: Yema Nodal



Fuente: Propia, 2008

Por la posición de las ramas en el culmo y por la función que cumplen se han clasificado en ramas basales o bajas y ramas superiores (Figura N° 04) (Giraldo y Sabogal 1999).

Fig. N°04: Posición de las ramas en el tallo: b) superiores, y c) inferiores o bajas



Fuente: Giraldo y Sabogal, 1999

Las ramas basales o bajas se encuentran en los primeros 8 ó 9 m., del tallo. Son producto de la activación de yemas de los nudos, de crecimiento plagiotrópico y solitario, con disposición alterna. En el nudo de la rama se producen entre dos y cuatro espinas y una yema axilar que cuando se activa produce normalmente prefoliaciones con crecimiento ortotrópico, las espinas también se disponen alternamente (Foto N°07).

Foto N°07: Ramas basales en el culmo de la Guadua



Fuente: Propia, 2008

Las ramas bajas tienen mucha variabilidad en cuanto al largo y diámetro.

Características anatómicas del culmo

Se sabe que las propiedades de los culmos están determinadas por su estructura anatómica (Liese, 1998) y son las características anatómicas del culmo las que, en últimas, reflejan el uso final de este material.

Según Grosser & Liese (1971), la estructura anatómica del culmo está principalmente determinada por los haces vasculares colaterales embebidos en el tejido del parénquima. La forma, el tamaño, el número y la concentración de haces vasculares varía desde la periferia hacia la parte interna del culmo y desde la base del culmo hacia el ápice del mismo. Cerca de la periferia, los haces vasculares son pequeños, numerosos y concentrados, mientras que en la parte media del culmo son más grandes y con una distribución más amplia. En todos los bambúes el tamaño de los haces vasculares decrece notoriamente desde la base hacia

el ápice, pero su densidad se incrementa correspondientemente. Todas las células de un entrenudo de bambú están orientadas axialmente. Los bambúes, al igual que las demás monocotiledóneas, no poseen ningún tipo especial de células que permita el transporte radial, como sí sucede con el tejido de cambium en las dicotiledóneas y en las gimnospermas (Grosser & Liese, 1971).

En la Guadua, el tejido del culmo está compuesto por: a) corteza, b) células de parénquima, c) fibras y d) haces vasculares, los cuales están conformados por células de esclerénquima, vasos (metaxilema, floema, protoxilema) y por tubos cribosos con células acompañantes.

En un corte transversal del culmo se diferencian cuatro zonas: a) periferia, que corresponde al 4,5% del espesor de la pared del culmo; b) transición, que corresponde al 10,7%; c) media, que corresponde al 73,9% y d) interna, que corresponde al 10,8% del espesor de la pared del culmo. Con relación a la edad, Guadua posee características anatómicas a nivel del haz vascular que son estables y no están influenciadas por factores de edad.

La Guadua tiene un tiempo estimado de duración de un culmo es de seis años (Castaño 1985; Londoño 1992). La función de los tejidos conductivos (xilema y floema) es continua a través del tiempo de vida del culmo, sin que exista formación de tejido conductivo nuevo, como sí sucede en las maderas duras y blandas de las dicotiledóneas.

Con la edad, en el caso de los bambúes, estos vasos conductores pueden obstruirse parcialmente debido a la deposición de sustancias como gomas, las cuales contribuyen a la pérdida de la conductividad y, en últimas, a la muerte del culmo (Liese, 1998).

Las características anatómicas del grosor del culmo (dimensiones de los haces vasculares, diámetro del metaxilema, porcentaje de parénquima, fibra y tejidos vasculares), no tienen correlación con la edad del culmo,

mientras que el porcentaje de tipos celulares es similar a otros bambúes (Gritsch y Murphy 2004; Londoño *et al.* 2002).

En la Guadua el grosor de la pared del culmo decrece más rápido en el segmento basal, lo cual podría explicar por qué los cambios anatómicos entre un entrenudo y el siguiente son más pronunciados en este segmento que en los segmentos medio y apical.

A continuación se describen los tejidos y células que componen el culmo de la Guadua:

- **Composición de tejidos**

Parénquima 51%; fibras 40%; haces vasculares 9%.

- **Corteza**

La epidermis presenta una alta concentración de células de sílice que contribuyen a la dureza de su madera, también presenta alta concentración de estomas entremezclados con células cortas y células largas.

La hipodermis consta de 2 a 3 capas de células de esclerénquima de pared gruesa. El parénquima cortical es homogéneo, formado por 8 a 10 capas de células de paredes delgadas y gruesas.

- **Parénquima**

Está compuesto por células largas y cortas. Las largas generalmente tienen paredes gruesas y se lignifican con el tiempo; las cortas son más pequeñas, de forma cúbica y de citoplasma más denso, tienen paredes delgadas y no se lignifican con la edad.

- **Haz vascular**

Está compuesto por 2 grandes vasos de metaxilema, 1 ó 2 elementos de protoxilema, por el floema y por las vainas de esclerénquima y de fibra. El floema contiene entre 14 y 25 tubitos cribosos largos de

pared delgada no lignificados y siempre conectados a las células acompañantes.

- **Fibras**

Las fibras se caracterizan por su forma delgada, larga y afilada en ambos extremos y algunas veces son bifurcadas. Su largo tiene influencia sobre la fortaleza del culmo y sus propiedades para pulpa.

Vainas de fibra esclerenquimática rodean los haces vasculares (floema y xilema); ellas difieren en tamaño, forma y localización, dependiendo de la especie, edad y de su localización

• **ESTRUCTURA Y DINAMICA DE LOS GUADUALES**

La estructura de un guadual está determinada por la densidad, el porcentaje y el estado de madurez, mientras que la dinámica está definida por la regeneración natural. Ambas, estructura y dinámica de los guaduales dependen en buena parte de las condiciones del clima y del suelo del sitio en donde crecen, pero también dependen del manejo que el hombre les da.

La densidad está definida por el número de culmos por unidad de superficie, la densidad óptima de un guadual depende más de su propia composición estructural y del manejo que se le dé.

El número total de tallos es muy variable, puede variar desde pocos individuos (1000 a 2000 tallos/ha) hasta muchos individuos (8000 a 10000 tallos/ha), aunque la más frecuente es de 2500 a 3500 tallos/ha. (Castaño et. al 2004).

Los guaduales excesivamente manejados presentan bajas densidades, por el contrario los que no son manejados como el caso de Venezuela, presentan altas densidades de población.

- **ESTADOS DE MADUREZ DE LA GUADUA**

Para poder realizar el manejo y el aprovechamiento adecuado de un guadual, se deben conocer sus distintas fases de crecimiento, durante su vida el culmo o tallo de guadua pasa por cuatro estados específicos de madurez, fácilmente distinguibles:

- **BROTE O RENUENO**

Es la primera fase de desarrollo de un guadual, comprende desde la aparición del brote hasta cuando llega a su máxima altura, sin presencia de ramas apicales. El tallo siempre está cubierto por hojas caulinares tanto en su parte basal como en su parte apical, los entrenudos son de color verde intenso y presenta dos bandas blancas en cada nudo, a veces aparecen ramas basales. Se encuentra en este estado los primeros seis meses.

- **GUADUA VERDE O JOVEN**

Se inicia en el momento en que empieza el desarrollo de las ramas apicales y crece gradualmente el follaje de la planta, el tallo elimina todas sus hojas caulinares de su parte superior conservando las basales, los entrenudos son de color verde intenso y presenta dos bandas blancas en cada nudo que se aprecian claramente, en esta fase los tallos duran de uno a tres años.

- **GUADUA MADURA O ADULTA**

En esta fase, todo el tallo se cubre de manchas liquenosas o plaquetas de color blanco, desaparecen las manchas nodales y aparecen algunos musgos en los nudos, su color se generaliza en tono grisáceo o rucio, no hay hojas caulinares en ninguna parte del tallo y la guadua adquiere su mayor grado de resistencia, generalmente se encuentran en el interior del guadual, en esta fase dura del 3 al 5 año. Son las únicas guaduas que se pueden aprovechar.

- **GUADUA SOBRE MADURA O SECA**

No hay presencia de follaje, el tallo se torna de un color amarillento, no se debe dejar llegar los guaduales a ese estado porque los tallos pierden su resistencia mecánica y al final mueren. Se da cuando la planta tiene más de 6 años. Las guaduas secas no deben existir en el guadual.

Hay que tener en cuenta que la guadua en estado Brote y en estado Verde no debe ser cortada o aprovechada ya que aún no obtiene la resistencia suficiente para su uso comercial. (Ver Foto N°08)

Foto N°08: Estadios de la *Guadua spp.*: A) brote, B) verde, C) maduro y D) sobre maduro



A

B

C

D

Fuente: Propia, 2008.

• **EL GENERO GUADUA EN AMÉRICA**

A comienzos del siglo XIX, los botánicos europeos Humboldt y Bonpland realizaron un viaje a América equinoccial, durante el cual vieron por primera vez este maravilloso bambú americano. La planta les llamó la atención no sólo por su tamaño, sino también por los diversos usos que las comunidades nativas daban a sus culmos, y la asociaron con los bambúes de Asia que ya conocían.

Fue así como en 1808 la identificaron con el nombre científico de *Bambusa guadua* Humboldt & Bonpland.

Años más adelante, el botánico alemán Karl Sigismund Kunth profundizó en el estudio del material botánico recolectado por Humboldt y Bonpland y consideró que este bambú americano debía segregarse del género asiático *Bambusa*, pues reunía una serie de caracteres que lo hacían único y diferente y tenía además una distribución geográfica distinta. En consecuencia, creó en 1822 el género *Guadua*, en el que utilizó el vocablo indígena “guadua”, con el que los aborígenes de Colombia y Ecuador denominaban a esta planta.

En el siglo XX, los estudios de Thomas R. Soderstrom y Royers Ellis (1987) y de Soderstrom y Ximena Londoño (1987) sobre anatomía y morfología de la *Guadua* respectivamente, confirmaron la tesis segregacionista de Kunth. Posteriormente, Lynn G. Clark, Zhang y Johnatan Wendel (1995) realizaron estudios moleculares que permitieron confirmar que este bambú americano no pertenece a la subtribu *Bambusinae* ni al género *Bambusa*, como se había pensado antes, sino que forma su propia subtribu, *Guaduinae*, y su propio género, *Guadua*.

Todo lo anterior permite afirmar que *Guadua* es un género que sólo se encuentra en América y que se distingue de los demás bambúes por las siguientes características (Soderstrom & Londoño, 1987):

- Culmos gruesos, largos y espinosos.
- Bandas de pelos blancos en la región del nudo.
- Hojas caulinares de forma triangular.
- Presencia de quillas aladas en la palea.
- Presencia de tres estigmas plumosos al final del estilo.
- Presencia de seis estambres.

- Presencia de estomas en ambas superficies de la lámina foliar.
- Número cromosómico de $2n=46$.

El género *Guadua* reúne las 30 especies de bambúes más grandes y económicamente más importantes de América tropical, que se distribuyen desde México hasta el norte de la Argentina y desde el nivel del mar hasta un máximo de 2600 m.s.n.m., sobre todo en las bajas altitudes (0 - 1500 m.s.n.m.) y en las regiones húmedas. Los únicos países en donde *Guadua* no crece espontáneamente son Chile y las islas del Caribe (Judziewics *et al*, 1999).

La temperatura parece ser el factor limitante en su distribución latitudinal y altitudinal. La mayoría de las grandes poblaciones de *Guadua* crecen entre 0 y 1500 m.s.n.m., y ocupan diversos hábitats: selva húmeda tropical, bosques de galería, “cerrados”, sabanas, piedemonte andino y otros; sin embargo, es frecuente observar estas poblaciones a orillas de ríos y quebradas.

El 45% de las especies del género *Guadua* es de origen amazónico. Las especies más representativas en esta cuenca amazónica son *Guadua weberbaueri* Pilger y *Guadua sarcocarpa* Londoño y Peterson. La especie *Guadua paniculata* Munro, que se encuentra desde México hasta el Brasil, es la que presenta el más amplio rango de distribución latitudinal, mientras que *Guadua angustifolia* Kunth es la que posee el mayor rango de distribución altitudinal, desde el nivel del mar hasta los 2.600 m.s.n.m.

Aunque la mayoría de las especies de este género presenta hábito erecto, algunas pueden tener hábito trepador o escandente.

Según su hábito, las especies del género *Guadua* se agrupan en tres clases:

1. Las de hábito erecto

Generalmente presentan culmos gruesos, huecos, rectos y ligeramente arqueados en la punta; sus alturas fluctúan entre 7 y 30 metros y sus diámetros oscilan entre 5 y 22 centímetros. Ejemplos: *Guadua spp.*, *G. angustifolia*, *G. aculeata*, *G. amplexifolia*, *G. Chacoftnsis*.

2. Las de hábito erecto y arqueado en el ápice

Generalmente sus culmos son rectos en la base y arqueados y trepadores en el tercio medio y superior; sus alturas oscilan entre 20 y 30 metros y sus diámetros fluctúan entre 4 y 8 cm. Ejemplos: *Guadua weberbaueri*, *G. sarcocarpa*, *G. tagoara*.

3. Las de hábito escandente

Generalmente sus culmos son delgados, huecos o sólidos, y trepadores; sus alturas oscilan entre 3 y 12 metros y sus diámetros fluctúan entre 1 y 5 cm. Ejemplos: *Guadua glomerata*, *G. ciliata*, *G. macchirei*.

Los culmos de *Guadua* son huecos en la mayoría de las especies; sin embargo, *Guadua amplexifolia*, *Guadua macrospiculata* y *Guadua glomerata* tienen culmos sólidos, característica que las hace potencialmente útiles en la industria del mueble y del papel (Londoño, 1992; 1998).

• AMBIENTE NATURAL DE LA GUADUA

Como se menciona anteriormente la *Guadua* es nativa de América, desde México hasta Argentina; la distribución de la *Guadua* está gobernada por los siguientes factores naturales.

- **Precipitación**

La precipitación de la zona debe estar entre los 1000 a 4000 mm/año, y la precipitación óptima fluctúa entre los 2000 y los 2500 mm/año, por lo tanto la Guadua se desarrolla mejor en regiones tropicales.

- **Hábitat**

El ambiente natural de la Guadua son los bosques tropicales húmedos, pocas veces se encuentran formando rodales puros.

- **Temperatura**

Uno de los factores climáticos limitantes es la temperatura, puesto que el rango óptimo oscila entre los 20°C y 26°C, soportando temperaturas extremas de 14°C a 30°C y cuando la Guadua se cultiva en lugares donde los rangos se alejan del óptimo los diámetros y las alturas de los tallos se reducen. A menor temperatura se afecta negativamente el desarrollo vegetativo de las plantas.

- **Suelos**

El crecimiento de la Guadua está condicionado a las características del suelo y la topografía.

La Guadua puede sobrevivir en una amplia variedad de tipos de suelos, mientras se mantengan favorables las condiciones de drenaje, precipitación y temperatura.

Crecen mejor en suelos bien drenados entre franco arenosos a franco arcillosos, ricos en nutrientes minerales (suelos aluviales u originados por arrastre de los ríos).

Suelos alcalinos y salinos son evitados, el rango óptimo de pH varía entre 5.0 - 6.5 (suelos ácidos a ligeramente ácidos).

De preferencia, deben ser suelos con contenido óptimo de materia orgánica.

- **Altitud**

Normalmente prospera a altitudes que no exceden los 2600 m.s.n.m., siendo la óptima entre los 800 y 1600 m.s.n.m.

- **Humedad relativa**

Este es un factor muy importante en el desarrollo de la especie. Los bosques de guaduales son favorecidos por una humedad que esté comprendida entre el 75 y el 85%.

- **Brillo solar**

La luminosidad para un óptimo desarrollo de la Guadua debe estar en el rango de 1800 a 2000 horas/luz/año, lo que equivale aproximadamente a 5 a 6 horas de luz por día.

Como ya mencionamos la Guadua, presenta una amplia distribución geográfica por su gran adaptabilidad a diferentes condiciones de suelo y clima, por lo que estas variaciones condicionan su crecimiento y desarrollo.

A continuación mostraremos el Cuadro N°03 y 04, donde se resume las zonas de vida donde puede crecer la Guadua así como los factores climáticos y edáficos que condicionan su desarrollo.

Cuadro N°03: Zonas de Vida Donde Puede Crecer la Guadua

Zona de vida	Rango de precipitación (mm)	Rango altitudinal m.s.n.m.
Bosque muy húmedo tropical (bmh-T)	4 000 – 8 000	0 – 1 000
Bosque seco tropical (bs-T)	1 000 – 2 000	0 – 1.000
Bosque muy húmedo Sub Tropical (bmh-ST)	2 000 – 4 000	800 – 2 000
Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB)	2 000 – 4 000	1 800 – 2 600

Fuente: Castaño *et al*, 2004

Cuadro N°04: Factores Climáticos y Edáficos que Condicionan el Crecimiento de la guadua

Factor	Rango General
Altitud	0 – 2 600 (msnm)
Temperatura	14 – 30 (°C)
Precipitación	1000 – 4000 (mm/año)
Brillo Solar	1800 – 2000 (Horas-Luz/año)
Humedad Relativa	75 – 85 (%)
Vientos	Brisas débiles o fuertes (intensidad)
Tipo de suelo	Diabasas, Cenizas volcánicas, aluviales
Textura	Francos (F), Limosos (L), Franco-limosos (FL), Franco arenosos (Far), Areno-Limosos (ArL), Franco-arcillosos (FA)
pH	5,0 – 6,5
Profundidad Efectiva	1,0 – 1,5
Permeabilidad	Moderada a alta

Fuente: Castaño *et al*, 2004

- **Importancia de la Guadua**

- **Ambiental**

La Guadua es una planta que aporta múltiples beneficios para el medio ambiente y al hombre; al ser empleado como elemento integral de la construcción de viviendas, funcionan como reguladores térmicos y de acústica, el rápido crecimiento de la Guadua permite según el “Estudio de Aportes de Biomasa Aérea” realizado en el Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, producir y aportar al suelo entre 2 y 4 ton/ha/año de biomasa, volumen que varía según el grado de intervención del guadua; esta biomasa constituye entre el 10 y el 14% de la totalidad de material vegetal que se genera en un guadua. La biomasa es importante, ya que contribuye a enriquecer y mejorar la textura y estructura del suelo.

El aporte anual de biomasa general de un guadua en pleno desarrollo oscila entre 30 y 35 ton/ha/año. (G. Herrera y Sabogal, 1999).

En el ambiente y en especial en el suelo los rizomas y hojas en descomposición, conforman símiles de esponjas, evitando que el agua fluya de manera rápida y continua, con lo cual se propicia la regulación de los caudales y la protección del suelo a la erosión. El sistema entretelado de rizomas y raicillas origina una malla, que les permite comportarse como eficientes muros biológicos de contención que controlan la socavación lateral y amarran fuertemente el suelo, previniendo la erosión y haciendo de la Guadua una especie con función protectora, especial para ser usada en suelos de ladera de las cuencas hidrográficas.

El agua proveniente de la lluvia que cae sobre el guadual, permanece mucho tiempo en él, toma diversos caminos y tarda más tiempo en caer al suelo, dando como resultado la “regulación de caudales,” ya que si la misma cantidad de agua se precipitara sin obstáculos ocasionaría crecidas súbitas y no se formarían reservas que son empeladas dentro del sistema cuando se requiere, especialmente en épocas de verano. Adicionalmente el dosel o bóveda que se conforma por el follaje en riveras de fuentes de agua, impiden las pérdidas por altas y rápidas tasas de evaporación (súbita) contribuyendo así a la mencionada regulación.

Entre los aportes más valiosos de la especie se debe mencionar su comportamiento como una bomba de almacenamiento de agua, cuyo funcionamiento es el principio de “vasos comunicantes” donde en épocas húmedas absorbe importantes volúmenes de agua que almacena tanto en su sistema rizomático como en el tallo, se ha determinado, según estudios realizados en la hacienda Nápoles, Municipio de Montenegro (Sabogal 1983) y en el Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua (Giraldo, 1996) que una hectárea de guadua puede almacenar 30 375 litros de agua, es decir, el agua para 150 personas por día (se asume un consumo promedio de 200 litros/día/persona). En época de verano cuando se percibe la necesidad de agua en el suelo, la que se encuentra almacenada en la

planta es aportada de manera paulatina al suelo (esponja que libera líquido).

Los guaduales propician la existencia y sostenibilidad de flora, microflora, entomofauna y fauna; se resalta que en estos nichos ecológicos o comunidades, la Guadua es la especie dominante, y a ella se asocia vegetación muy variada y numerosa que le permite conformar una estructura vertical triestratofítica, característica de las sociedades vegetales altamente desarrolladas y evolucionadas y que tolera una amplia interrelación entre los diferentes componentes del sistema.

Según estudios sobre “Biodiversidad en los Guaduales”, se han registrado hasta 33 familias de flora con 45 especies; 4 órdenes de insectos y 32 familias; 13 órdenes de aves con 25 familias y 1 orden de anfibios con 2 familias.

La caña guadua contribuye también a la conservación y mejoramiento de la calidad del aire, puesto que la cantidad de oxígeno que produce un guadual es muy superior a cualquier sistema forestal sobre la misma superficie de terreno. Por ello, la utilización (captación) de CO₂ del aire en el proceso de fotosíntesis es igualmente mayor que en otras especies silvícolas.

- **Importancia Sociocultural**

La Guadua es un elemento simbólico que recoge referentes de un pasado cargado de gesta en el que se acuñaron los más destacados caracteres de la vida regional, hoy necesarios de rescatar. De la relación del hombre con su entorno (relación sociedad-naturaleza) mediante trabajo o la simple conservación, resultan “sentidos” afectivos o emotivos.

Las comunidades incorporan como parte suya los objetos sobre los cuales actúan; luego de la acción, los individuos pueden reconocerse

en el objeto; es cuando se originan los afectos y la cultura. Es así como las viviendas que inicialmente se construyeron con Guadua han recogido en su estructura y espacio muchos esfuerzos, sueños, anhelos y constituyen el referente inicial de la vida espiritual. Es por lo anterior que la Guadua no se puede excluir fácilmente del paisaje, de la cotidianidad y de la memoria histórica de los pueblos.

La manera como la Guadua ha penetrado directa e indirectamente en casi todos los ámbitos de la vida regional, amerita atención y tratamiento adecuado para garantizar su permanencia a largo plazo. Por ser la Guadua una planta perenne, de alto rendimiento de madera por hectárea, por alcanzar su madurez en tiempo relativamente corto, por su longitud, trabajo y buena durabilidad esta especie se ha convertido en un Bambú importante para la comunidad.

Las condiciones favorables de sus propiedades físico-mecánicas, hacen que los tallos tengan muchos usos, a tal punto que lo utilizan en vivienda, utensilios de cocina, instrumentos musicales, puentes, canaletas, acueductos, horcones, lo que demuestra como llevan a la Guadua a la cotidianidad.

Los cultivadores, aprovechadores y comerciantes de la Guadua en San Martín - Moyobamba constituyen el grupo social denominado “Maroneros del Bosque Local El Maronal de Atumplaya” que son pobladores de estratos medios, con bajo nivel de escolaridad, pero con gran arraigo y familiaridad con el agro, el campo y la Guadua; el manejo y aprovechamiento de la Guadua requiere de obreros de buena condición física, ya que en esta actividad se deben realizar grandes esfuerzos, especialmente cuanto al corte, troceo, cargue y transporte se trate. Esta cultura de los maroneros ha sido heredada de sus antepasados, lo que hace de este un gremio muy particular, exclusivo y amante de la naturaleza.

- **Importancia económica**

La Guadua, como materia prima, es la especie forestal con mayores posibilidades de suplir la demanda de especies maderables en la industria productora de pulpa, a menores costos. Así mismo, en el campo de la construcción, la Guadua, debido a sus propiedades físico-mecánicas que le confieren una extraordinaria resistencia, durabilidad y funcionalidad, es un material sobresaliente para la construcción habitacional. La multiplicidad de usos se revierte en beneficio de las economías locales de los lugares donde se desarrollan sus bosques, contribuyendo a mitigar la problemática socio económica del campo. Cuando se siembra y cultiva técnicamente, el gradual es capaz de producir magníficos réditos económicos por unidad de superficie en un tiempo relativamente corto.

• **LA GUADUA COMO SECUESTADOR DE CARBONO**

Según Giraldo (2008) afirma que debido al dinamismo y las altas tasas de renovabilidad que se sucede en los guadales en el espacio y en el tiempo, estos generan acelerados procesos fotosintéticos que propician el intercambio gaseoso entre carbono atmosférico y oxígeno; gran parte del carbono que es producto de este intercambio, es asimilado y/o almacenado para luego ser convertido en materia prima o en su defecto almacenado en el suelo.

En síntesis la función que cumple el gradual es eliminar mediante su captura Dióxido de Carbono (CO₂) que se encuentre en exceso en el ambiente y lo traslade a su ciclo biológico, y lo retenga durante determinado periodo de tiempo dentro de su composición estructural sea la horizontal o vertical.

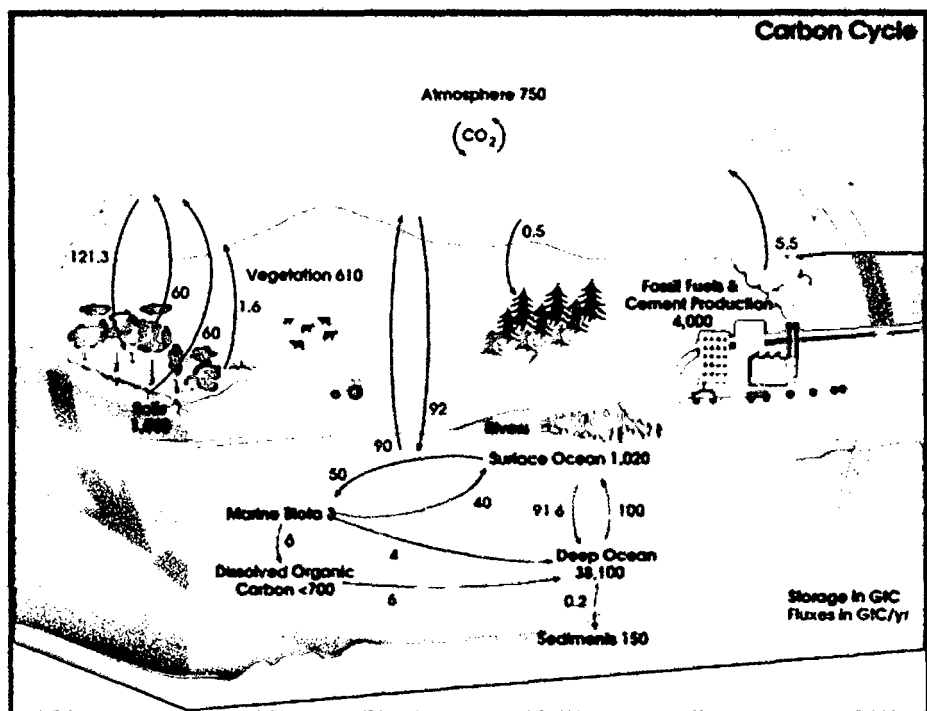
Ante tal descripción, simple pero lógica y entendible del proceso de sumisión de carbono por parte de la Guadua, es evidente y reconocible el rol de estos como reservorios que están aportando positivamente a

disminuir el Cambio Climático que aceleradamente se viene sucediendo a nivel global; queda claro entonces que la permanencia de este prototipo de bosques tan especializados y de alta dinámica están influyendo sobre el ciclo global de Carbono.

- **EL CICLO DE CARBONO EN LA NATURALEZA**

El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero, que juega un importante papel en el clima terrestre. La concentración de CO₂ en la atmósfera está controlada por el balance entre las ganancias y las pérdidas que se producen en las transferencias de carbono entre el aire y otros reservorios como la biosfera, el océano y el interior de la Tierra.

Fig. N°05: Ciclo del carbono



Fuente: www.ciclodelcarbono.com/media/Ciclo_del_carbono.jpeg

El CO₂ representa aproximadamente 0,03% a 0,04%, o sea, de tres a cuatro partes por diez mil partes de aire. El CO₂ es añadido al aire como resultado de la respiración vegetal y animal, de la quema de combustibles, de la actividad volcánica y de desgaste de las rocas debido a los agentes atmosféricos. Debido a que la velocidad del proceso

fotosintético en condiciones de luz y humedad abundantes suele verse limitado por las bajas concentraciones del CO₂ disponible, este se designa a menudo como el “factor limitativo” de la fotosíntesis.

Suele considerarse que este ciclo está constituido por cuatro reservorios principales de carbono interconectados por rutas de intercambio. Los reservorios son la atmósfera, la biosfera terrestre (que, por lo general, incluye sistemas de agua dulce y material orgánico no vivo, como el carbono del suelo), los océanos (que incluye el carbono inorgánico disuelto, los organismos marítimos y la materia no viva), y los sedimentos (que incluyen los combustibles fósiles).

Los movimientos anuales de carbono entre reservorios ocurren debido a varios procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos. El océano contiene el fondo activo más grande de carbono cerca de la superficie de la Tierra, pero la parte del océano profundo no se intercambia rápidamente con la atmósfera.

El ciclo comprende dos ciclos que se suceden a distintas velocidades:

a. Ciclo Geológico

El ciclo geológico del carbono, que opera a una escala de millones de años, está integrado en la propia estructura del planeta y se puso en marcha hace aproximadamente 4,55 miles de millones de años, cuando se formó el Sistema Solar y la Tierra.

Más del 99% del carbono terrestre está contenido en la litosfera, siendo la mayoría carbono inorgánico, almacenado en rocas sedimentarias como las rocas calizas. El carbono orgánico contenido en la litosfera está almacenado en depósitos de combustibles fósiles.

En una escala geológica, existe un ciclo entre la corteza terrestre (litosfera), los océanos (hidrosfera) y la atmósfera. El CO₂ de la atmósfera, combinado con el agua, forma el ácido carbónico, el cual

reacciona lentamente con el calcio y con el magnesio de la corteza terrestre, formando carbonatos.

A través de los procesos de erosión (lluvia, viento), estos carbonatos son arrastrados a los océanos, donde se acumulan en su lecho en capas, o son asimilados por organismos marinos que, eventualmente, después de muertos, también se depositan en el fondo del mar. Estos sedimentos se van acumulando a lo largo de miles de años, formando rocas calizas.

El ciclo continúa cuando las rocas sedimentarias del lecho marino son arrastradas hacia el manto de la Tierra por un proceso de subducción (proceso por el cual una placa tectónica desciende por debajo de otra). Así, las rocas sedimentarias están sometidas a grandes presiones y temperaturas debajo de la superficie de la Tierra, derritiéndose y reaccionando con otros minerales, liberando CO_2 . El CO_2 es devuelto a la atmósfera a través de las erupciones volcánicas y otro tipo de actividades volcánicas, completándose así el ciclo.

Los balances entre los diversos procesos del ciclo del carbono geológico han controlado la concentración de CO_2 presente en la atmósfera a lo largo de millones de años. Los más antiguos sedimentos geológicos, datados en épocas anteriores al desarrollo de la vida en la Tierra, apuntan concentraciones de CO_2 atmosférico cien veces superiores a las actuales, proporcionando un fuerte efecto invernadero. Por otro lado, las mediciones de los núcleos de hielo retirados de la Antártida y Groenlandia, permiten estimar que durante la última era glacial las concentraciones de CO_2 eran aproximadamente la mitad que en la actualidad (en 2005 de 379,1 ppmv de CO_2).

Para el carbono orgánico, cuyo origen es la materia orgánica no totalmente descompuesta en ausencia de oxígeno, que dio origen a la hulla, el petróleo y el gas natural, cualquier cambio significativo entre los diversos depósitos afecta también a una escala geológica. Esto fue

así hasta hace unos 200 años, con el inicio de la Revolución Industrial y la explotación y utilización (combustión) a gran escala de los combustibles fósiles, que empezó a liberar a la atmósfera el carbono de estos depósitos en forma de CO₂.

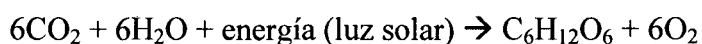
b. Ciclo Biológico

El ciclo biológico del carbono es relativamente rápido: se estima que la renovación del carbono atmosférico ocurre cada 20 años. En ausencia de la influencia antropogénica, en el ciclo biológico existen tres depósitos o “stocks”: terrestre (20 000 Gt), atmósfera (750 Gt) y océanos (40 000 Gt). Este ciclo desempeña un papel importante en los flujos de carbono entre los diversos depósitos, a través de los procesos de fotosíntesis y respiración.

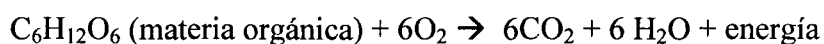
Mediante la fotosíntesis, las plantas absorben la energía solar y el CO₂ de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono (azúcares como la glucosa), que sirven de base para el crecimiento de las plantas. Los animales y las plantas utilizan los hidratos de carbono en el proceso de respiración, usando la energía contenida en los hidratos de carbono y emitiendo CO₂. Junto con la descomposición orgánica (forma de respiración de las bacterias y hongos), la respiración devuelve el carbono, biológicamente fijado en los reservorios terrestres (los tejidos de biota, el permafrost del suelo y la turba), a la atmósfera.

Las ecuaciones químicas que rigen estos dos procesos son:

Fotosíntesis:



Respiración:



Es posible verificar que el mayor cambio entre el depósito terrestre y el atmosférico resulta de los procesos de fotosíntesis y respiración.

Los días de primavera y verano, las plantas absorben luz solar y CO_2 de la atmósfera y, paralelamente, los animales, plantas y microbios, a través de la respiración, devuelven el CO_2 . Cuando la temperatura o la humedad son mucho más bajas, por ejemplo en invierno o en los desiertos, la fotosíntesis y la respiración se reduce o cesa, así como el flujo de carbono entre la superficie terrestre y la atmósfera.

A pesar de que el reservorio atmosférico de carbono es el menor de los tres (con cerca de 750 Gt de carbono), este depósito determina la concentración de CO_2 en la atmósfera, cuya concentración puede influenciar el clima terrestre. Además, los flujos anuales entre la reserva atmosférica y las otras dos reservas (océanos y terrestre) son muy sensibles a los cambios.

Los océanos representan el mayor depósito de los tres, cincuenta veces mayor que la reserva atmosférica. Existen trasposos entre estos dos depósitos a través de procesos químicos que establecen un equilibrio entre las capas superficiales de los océanos y las concentraciones en el aire superficial. La cantidad de CO_2 que el océano absorbe depende de la temperatura del mismo y de la concentración ya presente. Temperaturas bajas de la superficie del océano potencian una mayor absorción del CO_2 atmosférico, mientras que temperaturas más cálidas pueden causar la emisión de CO_2 .

Los flujos, sin interferencias antropogénicas, son aproximadamente equivalentes, con una lenta variación a escala geológica. La vida en los océanos consume grandes cantidades de CO_2 , pero el ciclo entre la fotosíntesis y la respiración se desarrolla mucho más rápidamente.

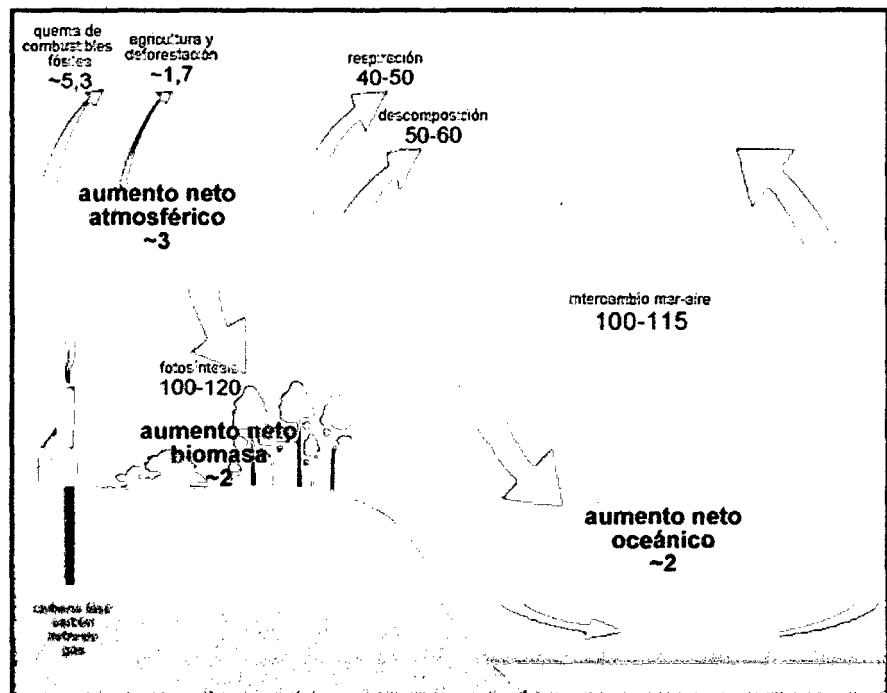
El fitoplancton es consumido por el zooplancton en sólo algunos días, y sólo pequeñas cantidades de carbono son acumuladas en el fondo del mar, cuando las conchas del zooplancton, compuestas de

carbonato de calcio, se depositan en el fondo tras su muerte. Después de un largo periodo de tiempo, este efecto representa una significativa remoción de carbono de la atmósfera.

Otro proceso intermedio del ciclo biológico que provoca remoción de carbono de la atmósfera, ocurre cuando la fotosíntesis excede la respiración y, lentamente, la materia orgánica forma depósitos de sedimentos que, en ausencia de oxígeno y a lo largo de millones de años, se transforman en combustibles fósiles.

Los incendios (naturales) son otro elemento del ciclo rápido que añaden CO₂ a la atmósfera al consumir la biomasa y materia orgánica, y al provocar la muerte de plantas que acaban por descomponerse y formar también CO₂.

Fig. N°06: Ciclo Corto del Carbono



Fuente: <http://www.esd.ornl.gov/iab/iab2-2.htm>

En la Figura N°06, se representan los intercambios anuales de carbono entre el mar, el aire y la biomasa continental (vegetación y suelos) en petagramos de carbono (PgC).

Además se representan las emisiones humanas anuales de CO₂ en petagramos de carbono (7PgC), que son debidas a la quema de combustibles fósiles y a la agricultura. Estos 7 PgC anuales se reparten y añaden carbono en los tres reservorios: aire (~3PgC), mar (~2PgC) y biomasa (~2PgC).

El Carbono en ecosistemas forestales

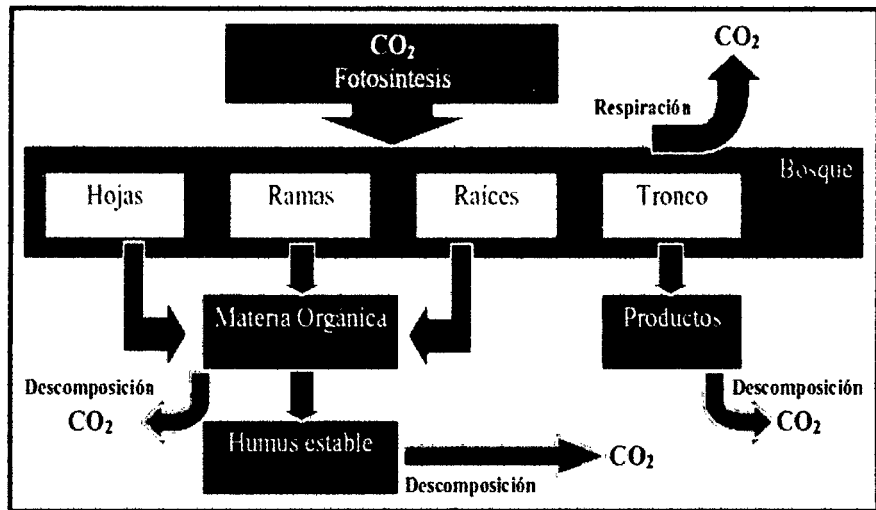
Una vez que el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que la planta pueda desarrollarse. Éste al crecer va incrementando su follaje, ramas, flores, frutos; así como altura y grosor del tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas dando lugar a una competencia entre las copas de las plantas por energía solar, originando a su vez un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan material orgánico al suelo, la misma que, a su vez, aporta nuevamente CO₂ al entorno (Ordóñez. 1998 y 1999).

Simultáneamente los troncos, al ir incrementando su diámetro y altura, alcanzan un tamaño tal que puedan ser aprovechados con fines comerciales. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado después del cual se degradan aportando carbono al suelo y CO₂ producto de su descomposición a la atmósfera.

Finalmente, durante el tiempo en que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es remitido (ya sea al suelo o a la atmósfera), se considera que se encuentra almacenado.

En el momento de liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o la quema de biomasa) el carbono fluye para regresar a su ciclo (Ordóñez, 1998 y 1999).

Fig. N°07: Ciclo de carbono en bosques IPCC



Fuente: Ordóñez, 1998.

- **LA FOTOSÍNTESIS**

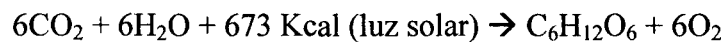
Es el proceso fundamental de la síntesis del alimento en las plantas verdes y tiene lugar ante todo en las hojas. EL proceso general de la fotosíntesis puede resumirse como sigue:

- Las fotosíntesis es un proceso que requiere energía; utiliza la luz como fuerza de energía y, por consiguiente, solo puede tener lugar cuando la planta está expuesta a la luz.
- La fotosíntesis transforma la energía lumínica en energía química.
- Los materiales brutos o sustancias de reacción son, en la fotosíntesis, el dióxido de carbono, absorbido del aire, y agua, absorbida principalmente del suelo.
- El pigmento verde, clorofila "a", es el principal material absorbente de luz de la mayoría de las plantas.
- El producto alimenticio principal de la fotosíntesis es, en las plantas superiores, el carbohidrato o glucosa.

- Es liberado oxígeno en forma molecular (O₂) de los tejidos verdes de la planta durante el proceso. La fotosíntesis no es una reacción química simple única, sino una serie de numerosas reacciones químicas complejas, algunas de las cuales sólo conocemos en parte.
- La fotosíntesis es importante en el mundo entero de los organismos vivos en dos formas fundamentales, a saber: a) es el único proceso principal de manufactura de alimento en el mundo; b) es la única fuente principal de oxígeno, actualmente, en la atmósfera de la tierra.

El curso del Proceso

La fotosíntesis puede representarse mediante la ecuación química simplificada siguiente:



Esta ecuación indica los materiales y los productos brutos en las proporciones en que tiene lugar.

Muestra que, por una absorción de 6 moléculas de CO₂ y 6 moléculas de agua se produce un rendimiento neto de 1 molécula de azúcar y 6 moléculas de oxígeno. Muestra, además, que se pueden utilizar 673 Kilocalorías (Kcal) en el proceso. (La kilocaloría es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1000 gr de agua en 1°C). De hecho el agua es descompuesta y recompuesta en el proceso de la fotosíntesis.

El dióxido de carbono utilizado en la fotosíntesis de las plantas superiores penetra en las hojas por difusión a través de los estomas de la epidermis foliar. El dióxido de carbono se disuelve fácilmente en agua y penetra fácilmente en las células mesofilicas verdes de las hojas, a través de sus paredes celulares húmedas.

Al avanzar la fotosíntesis la absorción de moléculas de dióxido de carbono por las células mesofilicas se traduce en una concentración

reducida de moléculas de dióxido de carbono en el aire de los espacios intercelulares del mesófilo. Luego la concentración de moléculas de dióxido de carbono es más alta en el aire que rodea la hoja, y las moléculas de dióxido de carbono siguen, de acuerdo con las leyes de la difusión difundiendo al interior de la hoja, a través de los estomas. La energía indispensable para la fotosíntesis es absorbida por la clorofila en los cloroplastos y es proporcionada normalmente por la luz solar.

Razón fotosíntesis/respiración

La tasa de la fotosíntesis dividida entre la tasa de la respiración de una planta se conoce como *razón fotosíntesis/respiración* (razón P/R). La razón P/R puede estar basada en una sola célula, una hoja, la parte aérea de una planta, la planta entera o aun una comunidad. El periodo de tiempo usado puede variar de unos pocos minutos hasta un día entero de 24 horas. Con esta base, una razón P/R de 1 significaría que en la respiración se utilizó tanto alimento como fue producido por la fotosíntesis, que no habrá acumulación de alimento y que cualquier asimilación sería a expensas del alimento acumulado. Una razón P/R de menos de 1 daría como resultado la utilización de alimento acumulado aún en la respiración y, si continuara durante un largo periodo de tiempo, la planta moriría eventualmente por falta de alimento. En realidad, en condiciones de crecimientos favorables y ordinarias las plantas tienen usualmente una razón P/R de 5 o más. De esta manera, hay una abundancia de alimento que puede ser utilizada en la respiración y en la asimilación, con un excedente acumulable.

- **INFLUENCIA HUMANA EN EL CICLO DEL CARBONO**

El almacenamiento de carbono en depósitos fósiles supone, en la práctica, una disminución de los niveles atmosféricos de dióxido de carbono. Estos depósitos se estiman entre 4000 y 10000 Gt, y no figuran en el ciclo rápido del carbono. Sin embargo, las actividades antropogénicas (humanas), sobre todo la quema de combustibles fósiles y la deforestación, están incorporando nuevos flujos de carbono en el ciclo

biológico provenientes de estos depósitos, con una influencia significativa en el ciclo global del carbono.

Estas actividades humanas transfieren más CO₂ a la atmósfera del que es posible remover naturalmente a través de la sedimentación del carbono, causando así un aumento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ en un corto periodo de tiempo (cientos de años). Esta influencia humana, iniciada sobre todo hace 200 años, cuando la concentración de CO₂ atmosférico se situaba en los 280 ppmv (0,028% de la composición global de la atmósfera), provocó un aumento significativo de la concentración de CO₂, habiendo actualmente sobrepasado los 380 ppmv (más de un 30% en sólo 200 años). Estos valores sitúan la concentración actual como la más elevada de los últimos 650000 años y quizás superior a la registrada hace 20 millones de años atrás.

No todo el CO₂ emitido antropogenicamente queda retenido en la atmósfera. La tasa anual de emisiones antropogénicas durante la década de los 90 se situó, en promedio, en 6,3 Gt. Sin embargo, en el mismo periodo, la concentración de CO₂ atmosférico aumentó, en promedio, 3,2 Gt por año. Esto se debe, en parte, al aumento de la difusión de CO₂ en los océanos, que habían pasado a absorber cerca de 1,7 Gt por año de las 6,3 Gt emitidas. Las restantes 1,4 Gt por año se estiman que están relacionadas con procesos en la superficie de la tierra. Esta última parcela tiene dos componentes: la alteración de la utilización de los suelos, sobre todo la deforestación, que reduce la tasa de absorción de CO₂ en el suelo; y otra, todavía en estudio, que puede tener diferentes orígenes, entre las cuales se encuentra el aumento de la tasa de absorción de las plantas correspondiente a un aumento de la concentración atmosférica de CO₂.

A pesar de las incertidumbres, puede obtenerse una conclusión importante y cuantificable: las actividades humanas influyen el ciclo global del carbono. Al retirar carbono almacenado en los depósitos de combustibles fósiles a una tasa muy superior a la de la absorción del carbono por el ciclo, las actividades humanas están potenciando el

aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y, muy probablemente, afectando al sistema climático global. Según el Panel Intergubernamental para las Alteraciones Climáticas de Naciones Unidas (IPCC), existen diversos escenarios de aumento de la temperatura del aire de la superficie terrestre hasta 2090-2099, en relación a 1990-1999, apuntando a un escenario bajo de aumento de 1,8°C y un escenario alto de 4,0°C.

Otra conclusión significativa que puede ser obtenida del análisis del ciclo global del carbono es el elevado potencial de algunos bosques para capturar el carbono atmosférico, tanto en el manto vegetal como en la materia orgánica del suelo, lo que aumenta la importancia de la manutención de ecosistemas con grandes cantidades de biomasa y suelos estables, con el objetivo de que ciertos bosques se vuelvan sumideros de carbono a mediano/largo plazo y otros no se vuelvan “fuentes” de carbono.

- **ANTECEDENTES DE CAPTURA DE CARBONO**

La preocupación mundial por la acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera de la Tierra, ha llevado a los países a aplicar políticas nacionales e internacionales que puedan reducir esta tasa de incremento, la cual influye sobre el cambio climático global. Uno de los gases más importantes, el dióxido de carbono (CO₂) ha aumentado significativamente en décadas recientes debido a la utilización de combustibles fósiles y a prácticas de uso de la tierra que reducen el carbono acumulado en bosques y suelos. Los bosques naturales, las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales, juegan un papel preponderante en el ciclo global del carbono, porque en ellos intervienen muchos de los procesos biogeoquímicos que regulan el intercambio de carbono que existe entre la atmósfera y la biomasa aérea (Acosta *et al.* Citados por UACH 2001).

- **El Protocolo de Kyoto**

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆).

En 1997, se aprobó el Protocolo de Kioto, que plantea objetivos y medidas concretas para la mitigación del Cambio Climático. Este Protocolo desarrolla el Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático fijando objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) originadas en la actividad humana en 39 países industrializados (recogidos en el Anexo I del Protocolo).

Estas reducciones se miden en relación con su nivel de emisiones de 1990: un promedio de 5,2% para el conjunto de los países industrializados, un 8 % para la Unión Europea. Estos objetivos de reducción son para el período 2008-2012, el llamado “Primer Período de Compromiso”. El 16 de Febrero de 2005 entró en vigor el Protocolo, superando el apoyo de al menos 55 países, cuyas emisiones en conjunto sumaron un mínimo del 55% del total de dichos países en 1990.

Este instrumento se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro.

Las consecuencias de la quema de combustibles fósiles (cambios climáticos, efecto invernadero y desertificación) fueron objeto de un convenio aprobado en Nueva York el 9 de mayo de 1992, y suscrito en Río de Janeiro (Brasil), por diversos países, el 11 de Junio de

1992, durante la Conferencia de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo) que culminó en el Protocolo de Kyoto.

Actualmente lo han ratificado 167 países o “Partes” de la Convención, llegando al 63,5% de las emisiones de CO₂ realizadas en 1990 por las Partes del Anexo I.

El protocolo no impone multas, aunque sí sanciones, es decir, el que no cumpla, tendrá que reducir en el siguiente período la cantidad incumplida, en Ton de CO₂, multiplicada por 1,3. Además podría ser sancionado al no poder acogerse a algunos de los mecanismos que facilitan la reducción.

- **Comercio de Emisiones**

El Comercio de Emisiones (artículo 17 del Protocolo de Kioto) es el mecanismo esencial para el funcionamiento del Protocolo, ya que convierte los derechos de emisión (cada unidad o derecho de emisión correspondientes a una tonelada equivalente de CO₂) en un valor transferible comercialmente a precio de mercado. Así los participantes en el Protocolo de Kioto pueden comprar más derechos si lo consideran necesario para llevar a cabo aquellas actividades que producen emisiones, o bien si desean retirarlos del mercado para evitar las emisiones equivalentes, venderlos en el caso de poseer más derechos de lo que su actividad emisora finalmente requiere

- **Captura de Carbono ante el Cambio Climático**

El cambio climático global asociado al aumento potencial de la temperatura superficial del planeta, es uno de los problemas ambientales más severos que se enfrentan en el presente siglo. Este problema se acentúa por el rápido incremento actual de las emisiones de gases efecto invernadero “GEI” (Bolin *et al.*, 1986) y por las dificultades de reducir en forma sustantiva el incremento de GEI en el futuro próximo (IPCC, 1995).

En nuestro país, los principales emisores de GEI son el sector de energía, por el uso de combustibles fósiles, con 83,8 MtC (Gay y Martínez, 1995), el cambio en el uso del suelo y forestería con 30,2 MtC (Masera *et al.*, 1995)

Diferentes autores (Schneider 1989; Houghton y Woodwell, 1989; Lashof y Ahuja 1994; Dixon *et al.*, 1994; Masera 1995; Schimel 1995; Ordóñez, 1998 y 1999) afirman que el dióxido de carbono es uno de los GEI más importantes y que su emisión a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución de las zonas tropicales.

La deforestación mundial anual se calcula en 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación anual de cerca de 1,8 GtC; lo que representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales (IPCC, 1992 y 1995; Montoya *et al.*, 1995).

Para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del cambio climático es imprescindible, por un lado, conocer la dinámica del C en los ecosistemas forestales y, por otra, las modificaciones a los flujos de carbono derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo. Un primer paso indispensable para lograr este objetivo, es contar con la información básica sobre los contenidos de carbono en los diferentes almacenes del ecosistema (Ordóñez, 1988).

- **Los bosques y el cambio climático**

Los bosques juegan un papel fundamental no sólo para la vida de nuestro Planeta, sino para la sobrevivencia humana. La capa vegetal terrestre del mundo absorbe el 40% de las emisiones globales de CO₂ y son fuente fundamental para el agua (Granada, 2005).

Cada vez que un bosque produce dos metros cúbicos de madera, atrapa alrededor de una tonelada de carbono del aire. Por el

contrario, al destruirse los bosques se libera al año alrededor de una cuarta parte de todos los gases que producen el efecto de invernadero, o cerca de 6 000 millones de toneladas de bióxido de carbono.

El cambio climático y los bosques están íntimamente ligados. Por una parte, los cambios que se producen en el clima mundial están afectando a los bosques debido a que las temperaturas medias anuales son más elevadas, a la modificación de las pautas pluviales y a la presencia cada vez más frecuente de fenómenos climáticos extremos.

En los árboles el carbono supone en general alrededor del 20% de su peso. Además de los árboles mismos, el conjunto de la biomasa forestal también funciona como “sumidero de carbono”. Por ejemplo, la materia orgánica del suelo de los bosques (como el humus producido por la descomposición de la materia vegetal muerta) también actúa como depósito de carbono.

- **Proyectos forestales**

A partir del Protocolo de Kyoto de 1997, se han planteado variadas opciones para mitigar el cambio climático; entre ellos se plantea la alternativa de que los proyectos forestales aumenten los “sumideros” o fuentes de captura de carbono, a través de la creación y mantenimiento de bosques, o bien mediante gestiones para la sustitución de fuentes energéticas contaminantes.

Existen tres razones fundamentales para considerar los proyectos forestales en la mitigación del cambio climático:

- Por el proceso de fotosíntesis las plantas capturan CO₂ de la atmósfera y lo fijan en sus células como carbono, siendo éste alrededor del 50% de su biomasa seca.

- Por una ventaja económica frente a los procesos de mejoras tecnológicas y otros mecanismos mucho más costosos, con valores cinco veces superiores a lo que significa un proceso hecho a través de los bosques.
- Por la contribución potencial a la conservación y uso sostenible de los bosques.

Además, el desarrollo de métodos para cuantificar los stocks y flujos de carbono asociados a proyectos forestales, ha llevado a que la captura de carbono por ecosistemas forestales se considere como un servicio ambiental con valor económico, en vez de un beneficio intangible.

- **Los bonos de carbono**

Son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero).

El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a emitir CO₂ como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado.

La transacción de los bonos de carbono (un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono) permite mitigar la generación de gases invernadero, beneficiando a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido.

- **Secuestro de carbono**

Es un servicio ambiental basado en la capacidad de los árboles para absorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa. Los niveles de absorción pueden ser mejorados con el manejo adecuado de los ecosistemas forestales, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI).

El hecho de que una tonelada de carbono secuestrada en cualquier lugar del mundo tenga el mismo impacto en la mitigación del efecto invernadero que otra, hace que este servicio tenga un mercado global, que viene siendo impulsado por la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto, donde se establecen compromisos de reducción de emisiones de GEI para países desarrollados y en transición.

Iniciativas como el Fondo Bio Carbono del Banco Mundial promueven el desarrollo de proyectos forestales que puedan aplicar al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) a través del comercio de Certificados de Emisiones Reducidas.

En el Perú existe un enorme potencial para el desarrollo de actividades de forestación y reforestación en zonas degradadas o deforestadas en costa, sierra y selva, pero para poder realizar un proyecto MDL forestal es necesario tomar en cuenta que:

- Las tierras donde se planea llevar a cabo el proyecto no hayan sido bosque al 31 de diciembre de 1989 y continúen sin ser forestadas.
- La documentación acerca de la tenencia de las tierras y el saneamiento físico-legal de las mismas debe ser muy clara.
- El proyecto debe contribuir al desarrollo sostenible.
- No se puede usar dinero proveniente de la Ayuda Oficial para el Desarrollo (ODA) en la implementación de los proyectos.

- Las cantidades de carbono secuestradas deben ser adicionales a las que se darían en ausencia del proyecto.

- **Fijación de dióxido de carbono**

Montoya (1995) afirma que, a través de la fotosíntesis, la vegetación asimila CO₂ atmosférico, forma carbohidratos y gana volumen. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Montoya (1995) y Ordoñez, (1999), describen que, con el manejo forestal es posible compensar las crecientes emisiones de CO₂ en dos formas.

a) **Creando nuevos reservorios de bióxido de carbono**

Restaurando las áreas degradadas por medio de plantaciones y/o regeneración natural, y por la extracción de madera. En ambos casos se pretende almacenar el carbono a través del crecimiento de árboles y, al extraer la madera, convertirla en productos durables. El carbono acumulado se mantendrá durante la vida útil del producto. Al extraer la madera, la regeneración actuará almacenando carbono por el crecimiento. Los sistemas forestales y agroforestales pueden capturar en sus diferentes almacenes de 80 a 350 toneladas de carbono por hectárea.

b) **Protección de bosques y suelos**

Con la destrucción del bosque se pueden liberar a la atmósfera de 50 a 400 toneladas de carbono por hectárea. Mencionan que “Mientras la protección de un área forestal puede inducir a la presión de otra, el manejo integrado de recursos enriquecido con esquemas de evaluación de proyectos son requeridos para validar dicha protección”, no obstante, los aspectos técnicos pierden su efectividad si no participa la población, es decir,

tanto los dueños de los recursos como los que consumen los productos derivados del bosque.

- **MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CARBONO**

Para estimar la biomasa aérea se puede emplear dos métodos: a) el método directo o destructivo; y b) el método indirecto, que generalmente se aplican cuando los árboles son de grandes dimensiones. En los dos casos, los valores obtenidos se extrapolan a una hectárea (Segura y Kanninen, 2002).

El método directo o destructivo incluye mediciones de 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 y altura, se transforman a términos de biomasa con la ayuda de modelos generales.

- **INVENTARIOS DE CARBONO**

Un inventario de carbono es un método usado para medir, registrar y procesar los datos del bosque, obtenidos en el campo y, así obtener información de la cantidad, calidad de los árboles y características del área boscosa, de acuerdo a las necesidades requeridas (Basantes, 2003).

En un inventario de carbono calculamos cuanto carbono está fijado en cada uno de estos “almacenes”. Podríamos comparar el inventario con una fotografía que nos permite “ver” el tamaño de estos almacenes al momento de tomarla.

- **DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA**

Es importante conocer la biomasa forestal para elaborar previsiones sobre el ciclo del carbono, que es un elemento de importancia en los estudios sobre el cambio climático. Además, para una parte de la población humana que vive en las zonas rurales de los países en desarrollo, la biomasa es una fuente primordial de combustible para cocinar y para calefacción.

La determinación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes.

Esta información es de especial importancia en la actualidad, debido a la necesidad de conocer los montos de carbono capturados por los bosques naturales y plantaciones, como un medio para mitigar los cambios climáticos generados por el consumo de combustibles fósiles, entre otros, que liberan una gran cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera.

1.3.3. Definición de términos

En la investigación se nombrarán constantemente los siguientes términos:

- **Bambú**

Son plantas maderables o herbáceas que crecen en asociaciones con árboles o arbustos, usualmente en selvas de clima cálido, en bosques mesofítico caducifolio y xerofítico caducifolio del Asia, así como en los bosques tropicales lluviosos.

- **Biomasa**

Cualquier estimado cuantitativo de la masa total de organismos que conforman todo o parte de una población o cualquier otra unidad específica, o dentro de un área dada en un tiempo dado; medidas como volumen, masa o energía.

- **Bonos de Carbono**

Los bonos de carbono son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero).

El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a emitir CO₂ como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado.

La transacción de los bonos de carbono (un bono de carbono representa el derecho a emitir 1 Ton de CO₂) permite mitigar la generación de gases invernadero, beneficiando a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido

- **Brácteas**

Las brácteas son hojas modificadas que se caracterizan por su fuerte consistencia coriácea, de forma triangular, y protegen las yemas. Se encuentran en el rizoma, en el tallo durante los primeros estadios del desarrollo y en las ramificaciones de la planta donde existen nudos con yemas.

Su dimensión es variable según la edad y la parte de la planta donde se desarrollen; se desprenden fácilmente desde la base

- **Cambio Climático**

Se llama cambio climático a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros

climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etcétera. Son debidos tanto a causas naturales como antrópicas.

El término suele usarse, de forma poco apropiada, para hacer referencia tan sólo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término cambio climático sólo para referirse al cambio por causas humanas.

- **Captura de Carbono**

Extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono (como los océanos, los bosques o la tierra) a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis.

- **Carbono**

Es un elemento químico de número atómico 6 y símbolo “C”. Es sólido a temperatura ambiente. Dependiendo de las condiciones de formación, puede encontrarse en la naturaleza en distintas formas alotrópicas, carbono amorfo y cristalino en forma de grafito o diamante.

Es el pilar básico de la química orgánica; se conocen cerca de 10 millones de compuestos de carbono, y forma parte de todos los seres vivos conocidos.

- **Ciclo**

Proceso natural en el que los elementos circulan continuamente bajo distintas formas entre distintos compartimentos del medioambiente (por ejemplo el aire, el agua, el suelo, los organismos).

Algunos ejemplos son el ciclo del carbono, del nitrógeno y del fósforo (ciclos de nutrientes) y el ciclo del agua.

- **Ciclo de Carbono**

El ciclo del carbono consiste en un proceso muy complicado, cuyos elementos principales son: el carbono que está almacenado en el aire, en el agua y en el suelo en forma de un gas llamado dióxido de carbono (CO_2); las plantas toman el carbono del CO_2 del agua (plantas acuáticas), del aire o del suelo (plantas terrestres) y con la energía de la luz del Sol producen alimentos (glucosa, sacarosa, almidón, celulosa, etc.), y liberan oxígeno (O_2) al aire, al agua o al suelo (fotosíntesis), las plantas juegan el rol más importante en el ciclo del carbono; los animales herbívoros se alimentan de las plantas y usan los compuestos orgánicos para vivir y formar su propia materia, por el proceso de la respiración los herbívoros emiten al aire o al agua el CO_2 ; los animales carnívoros toman la materia de otros animales por la alimentación, absorben los componentes de los animales por el proceso digestivo y los descomponen en las células con ayuda del oxígeno que respiran (del aire o del agua) y emiten CO_2 al aire o al agua; y por último la descomposición de las plantas y de los animales al morir restituye el carbono al medio en forma de CO_2 y materia orgánica, que son aprovechados por otras plantas para reiniciar el ciclo.

El ciclo del carbono es fundamental, porque de él depende la producción de materia orgánica, que es el alimento básico de todos los seres vivos.

- **Contenido de Humedad**

Es la cantidad de agua que posee una pieza de madera el momento de ser extraído.

- **Culmo**

Es el tallo o eje aéreo segmentado que emerge de un rizoma en el cual no se le consideran parte de él a las hojas y a las ramas.

- **Diámetro**

Es la distancia entre dos puntos de una circunferencia que pasan por el centro del mismo el cual divide a esta en dos partes constantes llamadas radio.

- **Dióxido de carbono (CO₂)**

Es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra) actualmente en una proporción de 350 ppm (partes por millón). Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno. El balance del dióxido de carbono es sumamente complejo por las interacciones que existen entre la reserva atmosférica de este gas, las plantas que lo consumen en el proceso de fotosíntesis y el transferido desde la tropósfera a los océanos.

- **Distribución diamétrica**

Esta dada por los diámetros de los culmos más representativos y que más abundan en el bosque de Guadua.

- **Ecosistemas**

Es un sistema natural vivo que está formado por un conjunto de organismos vivos (biocenosis) y el medio físico en donde se relacionan (biotopo). Un ecosistema es una unidad compuesta de organismos interdependientes que comparten el mismo hábitat.

Los ecosistemas suelen formar una serie de cadenas tróficas que muestran la interdependencia de los organismos dentro del sistema.

- **Ecuación Alométrica**

Es la ley más sencilla del crecimiento relativo. La razón entre los crecimientos relativos de “y” & “x” es constante. La ecuación alométrica es una fórmula aproximada, simplificada. Su principio es una expresión

de interdependencia, organización y armonización de procesos fisiológicos.

- **Emisión**

Es todo fluido gaseoso, puro o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana.

- **Estadio**

Periodo o fase de desarrollo de una planta, en este caso de la Guadua son tres estadios brote, verde y maduro.

- **Fijación de Dióxido de Carbono**

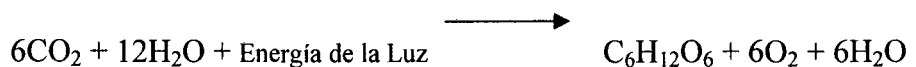
La fijación del carbono es el primer paso de la reacción oscura. El C proveniente del CO₂ es “fijado” dentro de un gran carbohidrato.

- **Follaje**

Representa a las hojas de la Guadua en su totalidad incluyendo a las brácteas.

- **Fotosíntesis**

La fotosíntesis es, con mucho, el mayor proceso productivo sobre la Tierra. Es un proceso biosintético por medio del cual la planta es capaz de sintetizar materia orgánica a partir de las moléculas inorgánicas que encuentra en el medio utilizando la energía lumínica.



- **Gases de Efecto Invernadero**

Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero. Los más

importantes están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, pero también entran en este concepto algunos gases artificiales, producto de la industria.

Entre ellos tenemos al vapor de agua (H_2O), al dióxido de carbono (CO_2), al metano (CH_4), a los óxidos de nitrógeno (NO_x), al ozono (O_3), y los clorofluorocarbonos (artificiales).

- **Gigatonelada (Gt)**

Unidad de medida que representa a mil millones toneladas; una gigatonelada de Carbono equivale a 1 petagramo de Carbono (1 PgC), que a su vez equivale a 3,67 Gt de CO_2 .

Por otra parte, 2,12 GtC o 7,8 Gt CO_2 equivalen en la atmósfera a 1 ppmv de CO_2 (ppmv=partes por millón en volumen)

- **Guadua**

La Guadua es el bambú gigante de América, es una planta extraordinaria de rápido crecimiento, y condiciones únicas de sostenibilidad, gran versatilidad, livianidad, resistencia, flexibilidad, oquedad, facilidad de manejo y calidez visual que han convertido, a esta gramínea, en protagonista notable de la evolución de la cultura americana.

- **Guadual**

Se denomina un guadual a las agrupaciones de Guadua (Bosque de Guadua) el cual interactúa con la población local.

- **Inventario forestal**

Es el conjunto de procedimientos destinado a proveer información cualitativa y cuantitativa de un bosque, incluyendo algunas características del terreno en donde el mismo crece, y así determinar el estado actual de un bosque.

- **Renuevos o brotes**

Son las nuevas Guaduas que salen por primera vez de una mata también denominados brotes.

Estos aparecen una vez al año entre los meses de noviembre a abril.

- **Secuestro de Carbono**

Es un servicio ambiental basado en la capacidad de los árboles para absorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa. Los niveles de absorción pueden ser mejorados con el manejo adecuado de los ecosistemas forestales, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI).

- **Silvicultura**

La silvicultura es el cultivo de los bosques o montes y también, por extensión, la ciencia que trata de este cultivo; es decir, de las técnicas que se aplican a las masas forestales para obtener de ellas una producción continua de bienes y servicios demandados por la sociedad. Estas técnicas se pueden definir como tratamientos, cuyo objetivo es garantizar dos principios básicos: la persistencia de la masa (continuidad en el tiempo) y su uso múltiple.

La práctica principal de la silvicultura es el aprovechamiento de madera y leña pero, sin embargo, la silvicultura está orientada a la conservación del medio ambiente y de la naturaleza, a la protección de cuencas hidrográficas, al mantenimiento de pastos para el ganado y a la fruición pública de los bosques.

- **Stock de Carbono**

La cantidad de carbono contenida en una fuente, es decir, un embalse o un sistema que tiene la capacidad de acumular o liberar el carbono.

- **Variable**

Objeto, proceso o característica que está presente, o supuestamente presente, en el fenómeno que un científico quiere estudiar. Los objetos, procesos o características reciben el nombre de variables en la medida en que su modificación provoca una modificación en otro objeto, proceso o característica.

Las variables principales a las que se suele referir la investigación en psicología pueden ser independientes, dependientes, intermedias, conductuales, observables, o inobservables.

1.4. VARIABLES

Se utilizó dos variables de suma importancia para la investigación; como variable independiente el diámetro a la altura normal (DAN) y como variable dependiente la biomasa aérea total (BAT).

1.4.1. Variable independiente - diámetro a la altura normal (DAN)

A la variable independiente también se la conoce como variable explicativa, esto significa que las variaciones en la variable independiente repercutirán en variaciones en la variable dependiente.

Elegimos al DAN como variable independiente debido a su fácil medición en los censos y trabajos de campo.

1.4.2. Variable dependiente - biomasa aérea total (BAT)

Son características de la realidad que se ven determinadas o que dependen del valor que asuman otros fenómenos o variables independientes.

La BAT es la variable que se pretende obtener al aplicar las ecuaciones de biomasa que a su vez darán los resultados para estimar el contenido de carbono en la *Guadua spp.*

Así afirmamos que para la presente investigación la relación entre ambas variables es:

La Biomasa Aérea Total (**BAT**) depende del Diámetro a la Altura Normal (**DAN**).

1.5. HIPÓTESIS

La hipótesis planteada para esta investigación es:

El potencial de captura de carbono de la *Guadua spp.* en el Bosque Local el “Maronal de Atumplaya” es mayor a 9TonC/Ha.

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO.

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. De acuerdo a la orientación

Básica.

2.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación

Descriptiva.

2.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En la evaluación de bosques tropicales, se pueden utilizar una gran variedad de métodos o diseños de inventarios forestales, sin embargo, es necesario buscar diseños que sean realmente eficientes, es decir, que al menor costo posible se obtenga la mayor precisión; todo ello debe ser concordante con las características de la población a evaluarse, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Heterogeneidad de la población.
- Superficie.
- Accesibilidad.

La combinación de estos factores determinará la condición básica para el diseño del inventario.

La población está comprendida por un bosque homogéneo de maronas dividido en cuatro cuarteles, cada uno de ellos es limpiado, censado, evaluado y cosechado cada cuatro años logrando una rotación anual que permite la recuperación de la especie luego de cada cosecha.

La superficie total del maronal es de 6,31 Has, un área relativamente pequeña y de fácil acceso. Las limpiezas se realizan entre los meses de mayo y junio en el cuartel

designado para la cosecha; esto quiere decir que luego de ser trabajado tiene cuatro años de regeneración en los cuales no existe ninguna actividad dentro del cuartel.

Por lo tanto el maronal cumple con las siguientes características:

- Población Homogénea.
- Superficie pequeña.
- Y de Fácil acceso.

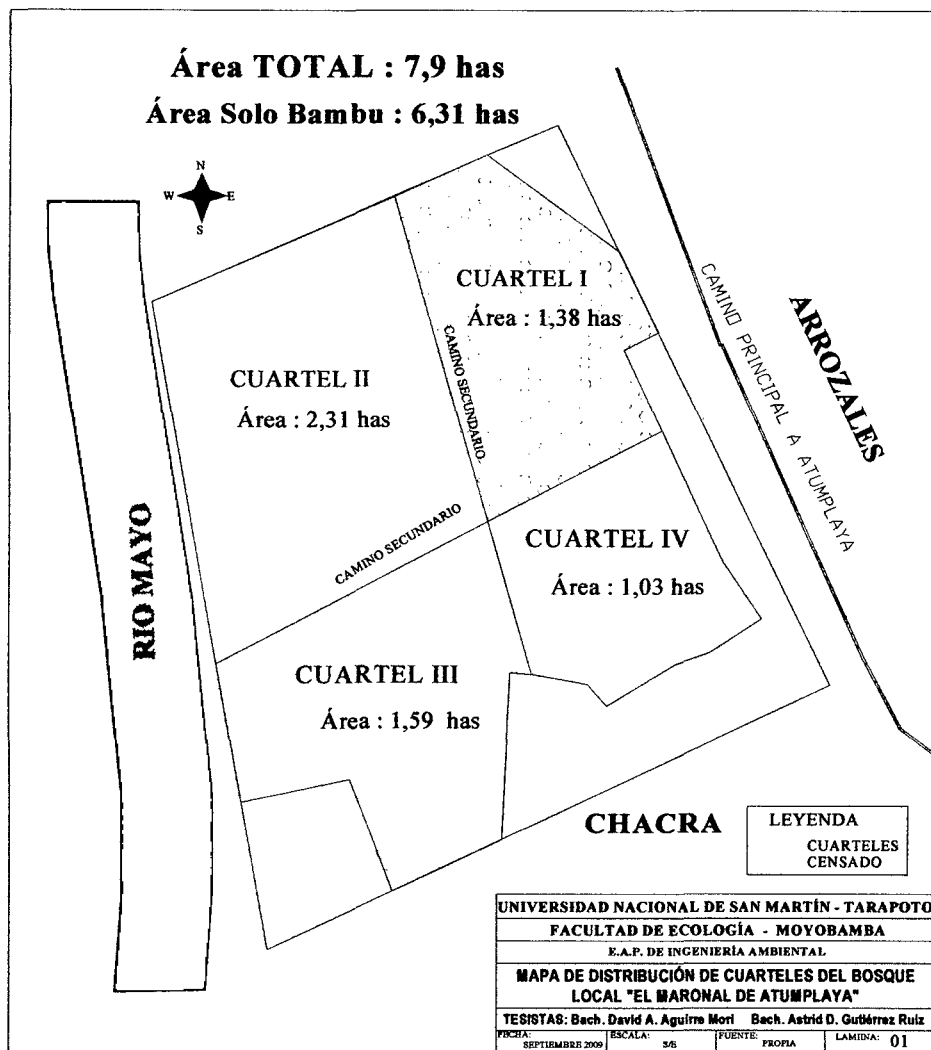
Por lo que el diseño requerido es:

- Irrestringido (no es necesaria la estratificación)
- Cobertura completa del área
- Distribución aleatoria de la muestra

Para la presente investigación se censó el 50% del maronal eligiendo los cuarteles (I y III) esto no altera los resultados, debido a que estos cuarteles poseen características representativas de los dos cuarteles restantes (II y IV); y porque no se contó con los recursos económicos suficientes como para realizar la limpieza y el censo total de los cuatro cuarteles.

Con los resultados de los cuarteles elegidos y censados (I y III) en los años 2008 y 2009, se estimó el número de culmos y los estadios de los cuarteles II y IV.

Figura N°08: Cuarteles censados en los años 2008 y 2009



Fuente: Propia, 2009.

2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

- **Población**

La población está comprendida por 6,31 hectáreas de *Guadua spp.* en el Bosque Local denominado “El Maronal de Atumplaya”, dividido en cuatro cuarteles.

- **Muestra**

Debido a que la presente tesis se desarrollará en un bosque homogéneo de Marona (*Guadua spp.*), se realizarán dos censos forestales; el primero de ellos comprenderá al cuartel III el cual se encuentra colindando con el Río Mayo; el

segundo censo comprende el cuartel I que limita con arrozales de la zona. El motivo principal por el cual se realizarán dos censos forestales es el de tener datos confiables y precisos.

Para el muestreo destructivo utilizaremos los datos recolectados en el censo forestal para aplicarlos en la fórmula muestral:

$$n = \frac{(z^2)(\sigma^2)}{d^2}$$

Donde:

d = Precisión de estimación o margen de error

z = Coeficiente de confiabilidad o el valor crítico de la distribución normal estándar, determinado con un nivel de confianza (1- α).

σ = Error estándar o desviación estándar de la población.

Así obtendremos el número de culmos por estadios a seleccionar durante el muestreo destructivo.

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

2.4.1. Selección del área de estudio

Se selecciono como área de estudio al Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” mediante la comparación entre otros bosques de *Guadua* encontrados en el Alto Mayo. Se eligió el Bosque Local por los siguientes motivos:

- Es el único bosque representativo de *Guadua spp.*, que está siendo manejado de manera sostenible.
- En un Bosque antiguo que está siendo recuperado por la población.
- Tienen la mayor extensión de *Guadua spp.* congregado.
- Se encuentra ubicado en una zona plana.
- Posee una buena accesibilidad.

2.4.2. Descripción del área de estudio

El Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” está dividido en cuatro cuarteles para un mejor manejo del aprovechamiento. Tiene una extensión total de 7,90 has de las cuales el 6,31 has pertenecen a *Guadua spp.*, la diferencia están conformadas por los caminos de recorrido, por caña bravales y zonas no utilizadas entre otras especies de herbáceas y árboles.

Es importante resaltar que parte del bosque (cuarteles II y III) colindan con la margen izquierda del río Mayo, y los cuarteles I y IV colindan con arrozales.

Análisis de suelos

El análisis químico de suelos en el laboratorio permite conocer el contenido exacto de nutrientes presentes en éstos; sin embargo, para obtener resultados útiles, es indispensable que la toma de las muestras de suelos sea la más representativa de los sitios de interés en el maronal. En el caso del bosque local “El Maronal de Atumplaya”, se realizó el análisis de suelo en laboratorio, que determinó la presencia de materia orgánica, NPK en proporciones adecuadas para el desarrollo de la marona. En el Cuadro N°05 se presenta los resultados de análisis de suelo del bosque local.

Cuadro N°05: Análisis físico químico del suelo en el bosque local

Análisis físico			
Textura			Clase Textural
Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	
19.08	35.04	45.88	Fr. Arcilloso Lo

Análisis Químico											
pH	M. O	N	P	K	CIC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	K ⁺	AJ ⁺⁺⁺	Acidez Activa
1:1	%	%	ppm	ppm	µMeq / 100 gr. de suelo						
6.5	5.0	0.25	16.7	93.8	20.1	17.1	2.7	0.12	0.24	Trazas	Trazas

Fuente: PEAM, 2009.

En este sentido, no es necesaria la aplicación de fertilizantes, por cuanto la restitución de nutrientes en el maronal se da anualmente por las inundaciones del río Mayo, depositando sedimentos con contenidos de nitrógeno, calcio, potasio y fósforo.

Aunque hasta la fecha no se cuenta con información absolutamente precisa sobre los requerimientos nutricionales de la marona, para el Se emplean generalmente productos a base de urea para el suministro de nitrógeno en el suelo, como la gallinaza.

2.4.3. Tamaño de la muestra

Según Young, Kuusela y Nyssonen 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. Castañeda (2005), utilizó 22 culmos (fustes o tallos) de *Bambusa oldhamii* por generación para elaborar buenas ecuaciones de regresión que dieran el C a través de variables fácilmente mensurables (altura y diámetro).

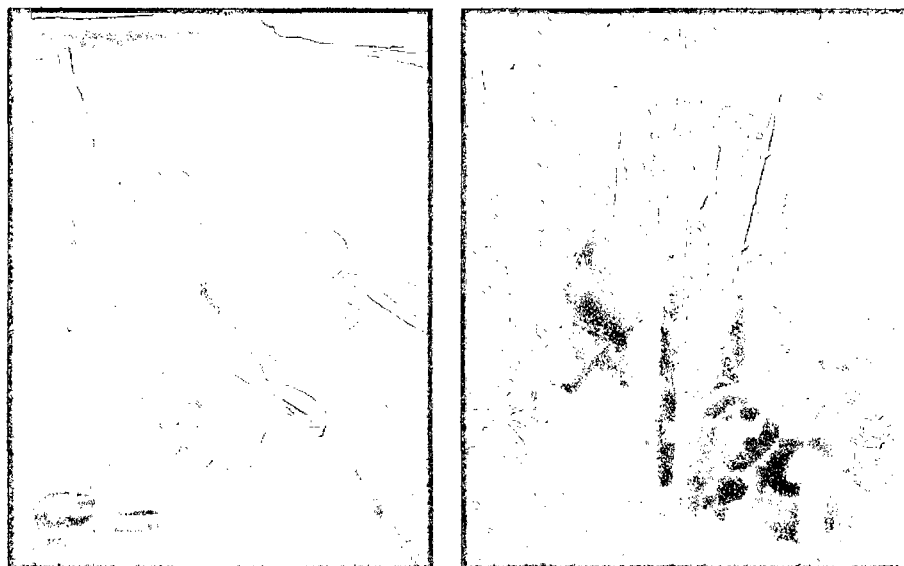
Para la fase del muestreo destructivo, se seleccionaron 57 individuos, (19 culmos por categoría de edad, 2 culmos por cada intervalo diamétrico de 1 cm). La selección de los individuos se realizó mediante la previa evaluación del diámetro a la altura normal (DAN), estado de los culmos, y representatividad de la especie. No se consideraron a los árboles y especies vegetales diferentes a la *Guadua spp.*

2.4.4. Medición del crecimiento de Brotes

Se identificaron renuevos (brotes de 2 a 4 meses de crecimiento) en los cuales se colocaron pequeñas cercas con estacas, rafia y letreros para su identificación y delimitación. Para ello se colocaron depósitos transparentes de plásticos en forma de vasos con una cinta métrica de 20 metros de longitud, ésta fue construida con tiras plásticas y rotuladas a mano por no existir cintas de esas longitudes en el mercado local.

Se monitoreo el crecimiento de veinte brotes por cuartel durante 17 semanas desde el 22 de abril del 2008 al 22 de agosto del mismo año debido principalmente a que la curvatura de la copa impedía una medición correcta de la altura del brote.

Foto N°09: Izquierda: envases plásticos con cintas métricas; Derecha: medición del crecimiento de un brote



Fuente: Propia, 2008.

2.4.5. Selección de la las parcelas y de los culmos a derribar

El establecimiento de las parcelas fue por el método opinático (a criterio), ya que a pesar de ser una plantación con 1 especie en su mayoría (monoespecífica), los individuos presentaron diferentes desarrollos debido a las distintas exposiciones, grado de humedad, plagas, etc. existentes en la plantación. Para ello se hizo un reconocimiento exhaustivo de la plantación, tardándose 5 días en ello.

Luego se hizo el establecimiento de los cuarteles a inventariar, eligiendo los cuarteles I y III debido a que son cuarteles opuestos y especialmente a que el cuartel I es muy similar al IV, así mismo; el cuartel III es similar al II en lo que respecta a condiciones ambientales del bosque.

Se censaron todos los culmos en todos sus estadios (brotes, verdes, maduros y sobre maduros) y se tomó la medida del diámetro normal a una altura de 1,30 metros con la finalidad de conocer el intervalo diamétrico de cada generación.

Cada culmo muestreado fue rotulado con un código para poder identificar los cambios que posiblemente podrían presentarse en el segundo censo forestal un año después de la primera intervención.

Los culmos seleccionados para el muestreo destructivo luego de ser identificados y rotulados en la etapa del censo forestal fueron medidos diametralmente en el 1^{er} y 2^{do} nudo ya que es en este último donde se realizará el corte con un hacha. Estas medidas servirán para estimar la biomasa existente en estos dos primeros nudos y así contribuir al resultado final de la biomasa total del culmo aéreo. Con los resultados se obtuvieron el número total de culmos en cada cuartel así como los intervalos diamétricos de cada generación, y los culmos a derribar.

2.4.6. Separación y Pesaje de la biomasa aérea

Con cada culmo derribado se midió la longitud total de éste y su vez la longitud entre nudos; una vez terminada esta operación se procedió a extraer los componentes del culmo con la ayuda de un hacha y una sierra de arco.

Se quitaron las ramas para luego deshojarlas, se pesaron tanto las ramas y las hojas por separado y se tomó una muestra representativa de cada componente (1,0 Kg. para ramas y 0,5 Kg. para hojas) para luego empaquetarlo y rotularlo para su respectivo análisis en laboratorio.

Con el culmo desramado se empezaron a extraer las muestras y las sub-muestras utilizando una sierra de arco; las primeras se extrajeron cada 4 segmentos y se midió: la longitud de la muestra, el diámetro inferior y superior, el diámetro interno y el peso fresco de la muestra, fueron rotuladas y embaladas para su traslado al laboratorio; y las sub-muestras estaban constituidas por los 4 segmentos adyacentes a la muestra, éstos sólo fueron perforados para extraer el líquido que poseían en su interior y luego ser

pesados con una balanza modelo romana de 25Kg. de capacidad y un error de 0,25 Kg. En promedio se tuvieron 11 muestras, 1,0 Kg. de ramas y 0,5 Kg. de hojas que fueron trasladadas para su secado y 10 sub-muestras que quedaron en campo ya que sólo interesaba obtener el peso fresco.

2.5. TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

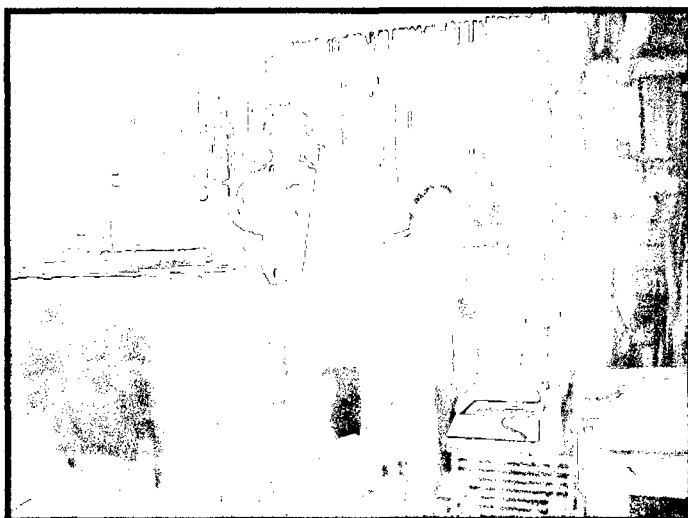
2.5.1. Métodos de laboratorio

- **Secado y pesaje de las muestras**

Al término de los ensayos destructivos de biomasa se obtuvo el peso seco y el porcentaje de Humedad de cada componente del culmo mediante el pesaje de la masa verde (utilizando una balanza de plato con exactitud de 0,05 Kg.) en el campo.

El secado de las muestras se realizó en un horno artesanal de 1 m³ de capacidad alimentado por leña, a una temperatura de 85 °C - 90 °C hasta obtener peso constante, las muestras eran extraídas del horno cada 6 horas para su control y una vez obtenido el peso constante eran comprobadas en una estufa eléctrica para asegurarnos de que la humedad había desaparecido en todo el lote. En promedio por cada lote existían 50 muestras debidamente rotuladas tal como se aprecia en las siguientes figuras:

Foto N° 10: Pesado y secado de las submuestras en el horno artesanal



Fuente: Propia, 2008.

Foto N° 11: Submuestras en el interior del horno artesanal



Fuente: Propia, 2008.

Para el caso de las muestras de las ramas y hojas, el secado se llevo a cabo en una estufa eléctrica a 80°C por tres días aproximadamente hasta obtener peso constante, como se precia a continuación:

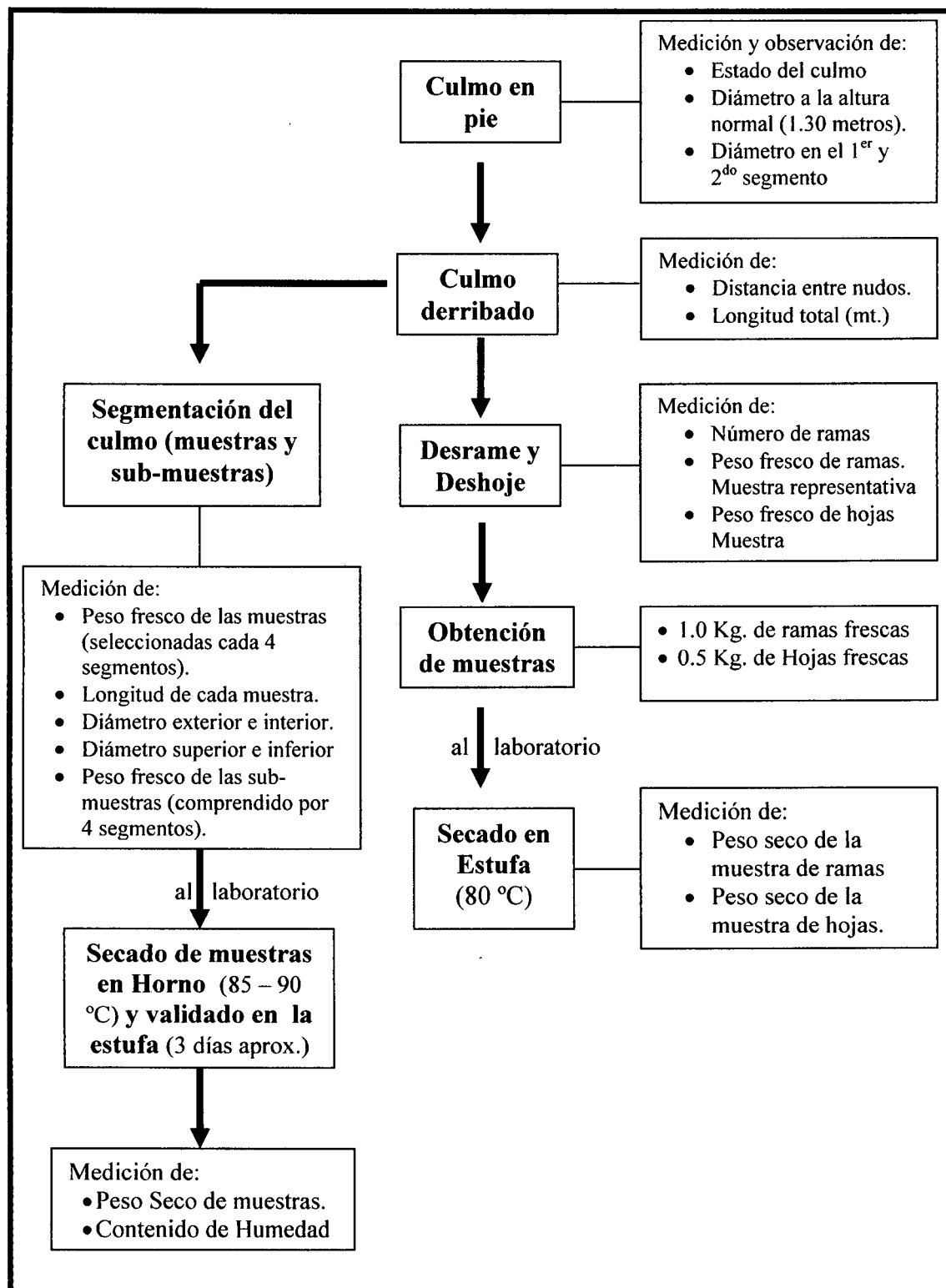
Foto N° 12: Muestras de hojas y ramas secadas en la Estufa



Fuente: Propia, 2008.

Para la medición del peso seco de las muestras, ramas y hojas se utilizó una balanza electrónica de 0,005 kg., de exactitud.

Fig. N°09: Flujo de Actividades de obtención de datos en terreno y en laboratorio



Fuente: Propia, 2009

- **Cálculo del Contenido de Humedad por componentes en cada estadio**

Con el fin de determinar el contenido de humedad en porcentaje de cada componente por estadio de desarrollo se utilizó la siguiente fórmula matemática:

$$CH = \frac{(Phs - Pss)}{Pss} \times 100$$

Donde:

- CH : Contenido de Humedad en porcentaje (%)
- Phs : Peso húmedo de la sub muestra (peso fresco en campo)
- Pss : Peso seco de la sub muestra

Los valores obtenidos en las submuestras de los 19 culmos por cada estadio fueron analizadas y recopiladas para obtener el contenido de humedad en porcentaje total y parcial.

Así mismo, el contenido de humedad representa la cantidad de agua que existe en relación al peso seco (biomasa) de cada muestra.

- **Estimación de volúmenes de la *Guadua spp.***

Se calculo el volumen de cada culmo muestreado utilizando las fórmulas geométricas del “tronco de cono circular rector” y la del “cilindro circular recto” de la siguiente manera:

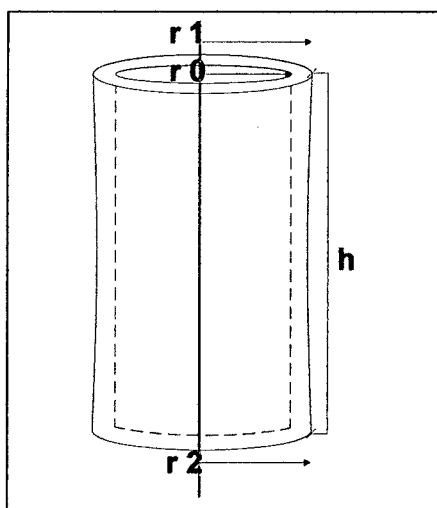
$$V_{culmo} = \frac{1}{3} \pi h (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2) - \pi r_0^2 (h - 1)$$

Donde:

- π : 3,141592654
- h : Longitud de la sección muestreada
- r_1 : Radio superior externo
- r_2 : Radio inferior externo
- r_0 : Radio promedio interno

Esto se puede apreciar en la Figura N°10:

Fig. N°10: Elementos para encontrar el Volumen de la *Guadua* spp.



Fuente: Propia, 2009

2.5.2. Métodos de Gabinete

- **Elaboración de las ecuaciones de biomasa**

Para la aplicación de las ecuaciones generalmente se requieren los diámetros y alturas de todos los árboles presentes en la plantación, sin embargo por tratarse del género *Guadua* es prácticamente imposible medir las altura utilizando un clinómetro ya que la copa de esta especie presenta una curvatura que impide estimar la altura de la planta; la única manera de hacerlo es midiendo la planta caída. Además durante el muestreo destructivo no se encontró una relación directa entre el diámetro y la longitud total del culmo (altura), esto se debe a que todos tienden a superar los 25 metros de altura sin importar el diámetro de cada individuo; por ello en este estudio se hizo un inventario total en cada parcela y solo se midió el diámetro de cada culmo.

Dentro de cada cuartel se midió el CAN (circunferencia a la altura normal = 1,30m), transformándolos a DAN, al dividirlo con π (3,14159).

Las ecuaciones fueron elaboradas con ayuda del software llamado SPSS versión 13.0. Se partió de modelos de ecuaciones de regresión. Para luego elegir el mejor modelo y así generar la ecuación que más se ajustaba.

Finalmente se multiplicó los coeficientes de la ecuación por 0,45 que representa el valor más bajo de carbono capturado por cualquier especie vegetal, asegurándonos que las estimaciones no puedan sobre estimar el contenido total de carbono en el maronal.

- **Aplicación de las ecuaciones de biomasa**

La zona de estudio está dividido en cuatro cuarteles de los cuales se inventarió el cuartel I y el cuartel III obteniendo los DAN de todos los culmos (brotes, verdes y maduros)

Obtenidos los DAN en los culmos de cada cuartel se procedió a graficar los intervalos diamétricos por estadios para obtener los rangos óptimos para la elección de culmos en el muestreo destructivo.

Con los datos del muestreo destructivo y la Etapa de Laboratorio se obtuvo la biomasa de cada culmo por estadio; con los cuales se realizó la regresión lineal para la obtención de las ecuaciones alométricas óptimas para la especie.

Se probaron 3 modelos de ecuaciones alométricas para ver cuál de ellas se adaptaba mejor a los resultados reales.

La ecuación elegida fue corrida con los datos del DAN de todos los culmos inventariados en los cuarteles para la obtención de la biomasa total aérea del Bosque.

Finalmente este valor hallado fue multiplicado por el factor de conversión de Carbono (0,45) y así se obtuvo el estimado de Carbono en el Bosque Local el Maronal de Atumplaya en Ton C/ha.

CAPITULO III RESULTADOS

3.1. RESULTADOS

3.1.1. Resultados de Campo

- **Estructura de los cuarteles**

Abundancia

Se evaluó la abundancia y la distribución diamétrica por hectárea para cada cuartel en cada estadio, así se determinó el comportamiento de estos dos parámetros dentro de cada uno de ellos.

Esta evaluación se realizó en dos ocasiones una al inicio del estudio (mayo del 2008) y la otra un año después (mayo 2009).

Cuadro N°06: Existencia de culmos por cuartel y por Ha - 2008

Cuartel	Estadios	N/cuartel	N/ha	DAN
I	Brote	427	310	13,60
	Verde	1 322	958	11,60
	Maduro	1 038	752	12,90
	TOTAL	2 787	2 020	12,70*
III	Brote	279	176	13,05
	Verde	561	353	12,41
	Maduro	787	495	12,74
	TOTAL	1 627	1 024	12,73*

Fuente: Propia, 2009

Cuadro N°07: Existencia de culmos por cuartel y por Ha – 2009

Cuartel	Estadios	N/cuartel	N/ha	DAN
I	Brote	533	386	12,08
	Verde	1653	1 198	12,10
	Maduro	1134	822	13,11
	TOTAL	3 320	2 406	12,43*
III	Brote	362	228	12,27
	Verde	867	545	12,62
	Maduro	845	531	12,70
	TOTAL	2 074	1 304	12,53*

Fuente: Propia, 2009

- N/cuartel : Número de culmos por cuartel
N/ha : Número de culmos por hectárea
DAN : Diámetro a la altura normal (1,30m)
HT : Altura total
* : Valores promedio

Los datos representados en el Cuadro N°06 en relación a la abundancia (Número de culmos por hectárea N/Ha) y DAN de los cuarteles por estadios (fases de desarrollo) de los culmos en el censo del 2008, se aprecia que una hectárea del cuartel III posee aproximadamente la mitad de culmos que una hectárea en el cuartel I debido a la cosecha realizada en el 2007 y a la pérdida de culmos por un viento huracanado que afectó al cuartel III.

Esto representa el 50,69% en comparación con el cuartel I donde el número de culmos es mayor, debido a que la primera cosecha fue realizada en el 2004 dando tiempo suficiente (4 años) para su regeneración.

En el cuartel III se encontró 176 brotes/Ha que representa el 56,77% comparado con en el cuartel I donde se encontró 310 brotes/Ha.

Cuadro N°08: Incremento de la abundancia por hectárea

Cuartel I del 2008 al 2009				
Estadios	Abundancia 2008	Abundancia 2009	Incremento anual (unid.)	Incremento anual %
Brotos	310	386	76	19,69
Verde	958	1198	240	20,03
Maduro	752	822	70	8,52
TOTAL/Ha	2020	2406	386	16,04

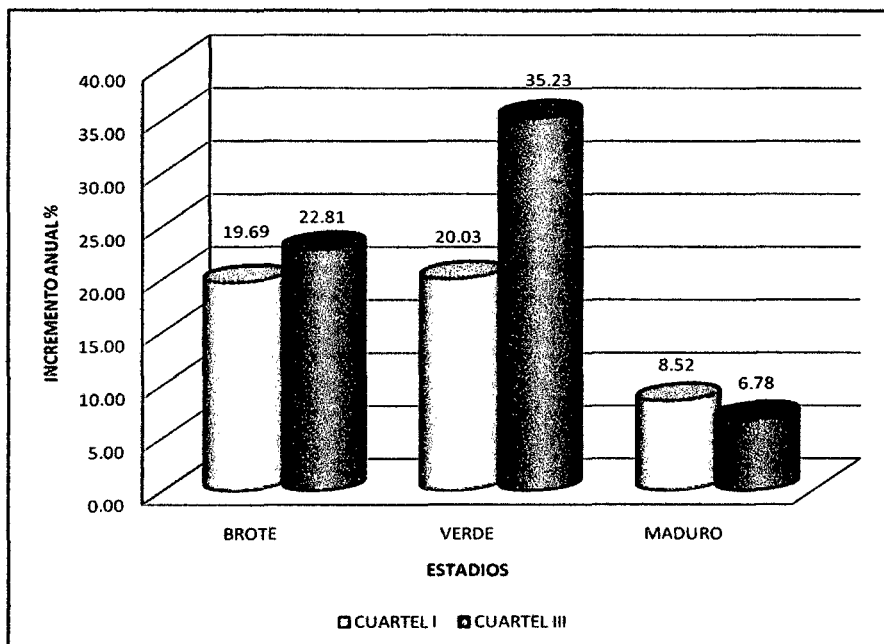
Cuartel III del 2008 al 2009				
Estadios	Abundancia 2008	Abundancia 2009	Incremento anual (unid.)	Incremento anual %
Brotos	176	228	52	22,81
Verde	353	545	192	35,23
Maduro	495	531	36	6,78
TOTAL/Ha	1024	1304	280	21,47

Fuente: Propia, 2009

En el Cuadro N°08, se aprecia que la abundancia por hectárea en el cuartel I en el 2008 aumentó en un 16,04% respecto al total de culmos por hectárea encontrados en el censo del 2009, con respecto a los culmos brotes, verdes y maduros el incremento fue de 19,69% 20,03% y 8,42% respectivamente.

Haciendo la misma comparación en el cuartel III se observó que la abundancia incremento un 21,47% del censo del 2008 al del 2009 y la regeneración en brotes, verdes y maduros fue de 22,81%. 35,23% y 6,78% respectivamente.

Gráfico N°01: Incremento de la abundancia por hectárea entre los años 2008 y 2009



Fuente: Propia, 2009

Distribución diamétrica

La distribución diamétrica realizada en ambos cuarteles fue de suma importancia para conocer el rango diamétrico con mayor representatividad en cada estadio y así poder elegir culmos que representen al total de la población en la etapa del muestreo destructivo.

Como se aprecia en el Gráfico N°02 se representa la distribución diamétrica del Cuartel III en relación al número de culmos por cuartel, obteniendo entre ellos los de mayor representatividad 11 a 15 cm. de diámetro, que equivalen a un 72,53% (1180 culmos) del total. Esta tendencia también se repite en los culmos brotes, verdes y maduros.

En el Gráfico N°03 se observa que el Cuartel I presenta un distribución diamétrica de 11 a 15 cm., que equivale a un 64,23% (1790 culmos) del total. Sin embargo en los brotes la tendencia va de 12 a 16 cm., en verdes de 10 a 14 cm., y en maduros de 11 a 15 cm. de diámetro.

Grafico N°02: Distribución diamétrica del cuartel III - 2008

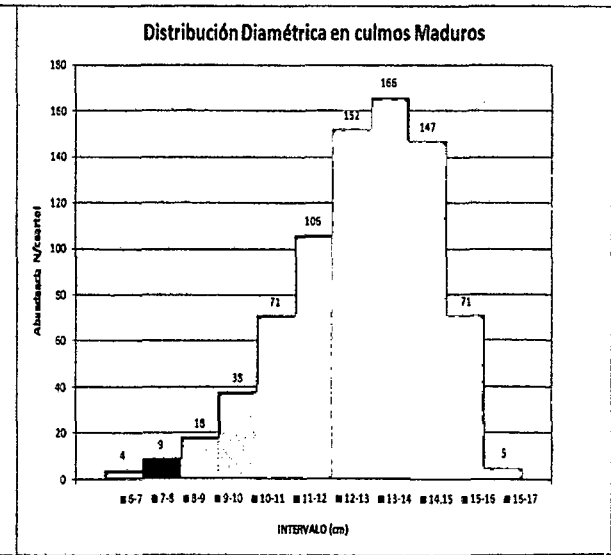
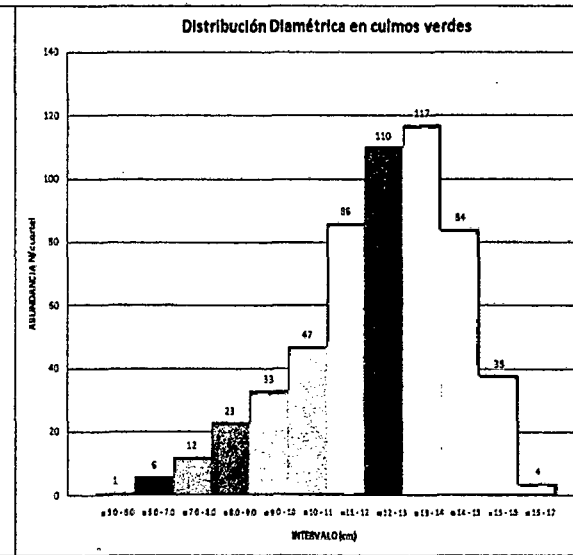
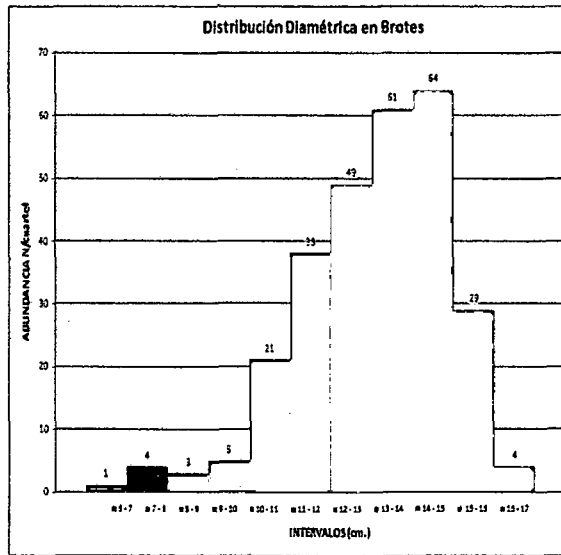
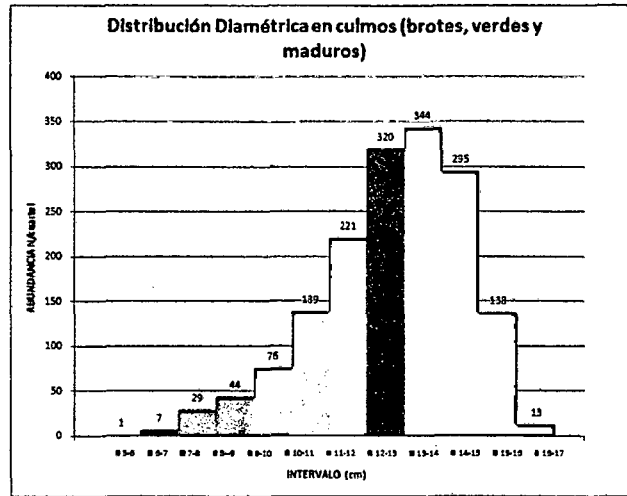
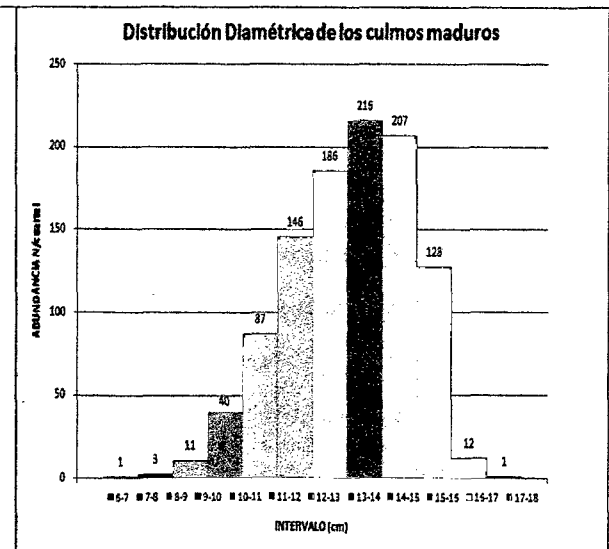
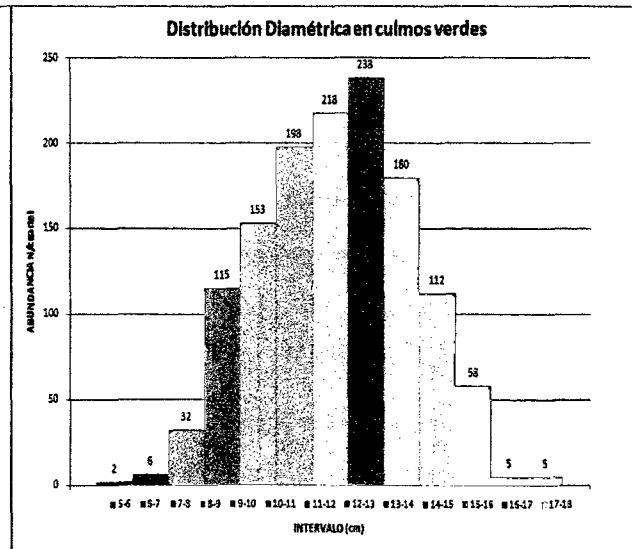
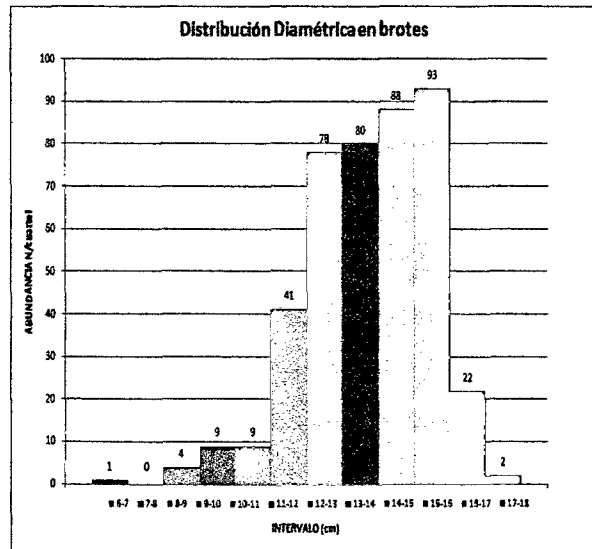
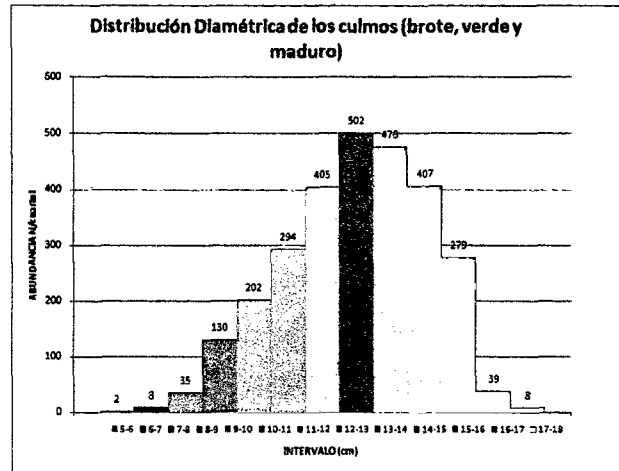


Grafico N°03: Distribución diamétrica del cuartel I – 2008



Volumen de la *Guadua spp.*

Una vez obtenidos los resultados de los volúmenes de los culmos muestreados, se procedió a ingresar los valores en el programa estadístico SPSS versión 13.0 para así obtener las ecuaciones de regresión para el volumen, obteniendo ecuaciones para cada estadio de crecimiento.

Cuadro N°09: Ecuaciones de volumen

ESTADIO	ECUACIÓN	R ²	CME
BROTE	$V_{\text{culmo}} = e^{(-2,432 + 2,679(\text{LnDAN}))}$	0,872	0,033
VERDE	$V_{\text{culmo}} = e^{(-1,510 + 2,320(\text{LnDAN}))}$	0,832	0,038
MADURO	$V_{\text{culmo}} = e^{(-1,395 + 2,254(\text{LnDAN}))}$	0,904	0,017

Fuente: Propia, 2009

Aplicadas estas formulas en cada estadio, se obtuvo los volúmenes en el Cuartel I y en el Cuartel III de 157,484 m³/ha, y 82,746 m³/ha respectivamente, siendo el cuartel III menor en 52,542%.

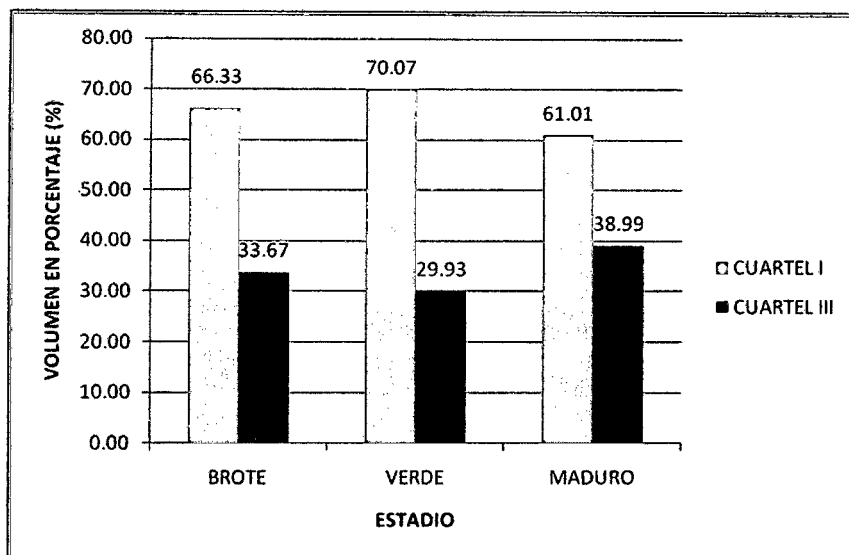
En el Cuadro N°10 se muestra el porcentaje del volumen por hectárea por estadio de crecimiento de la *Guadua spp.*

Cuadro N°10: Porcentaje del volumen por hectárea por estadio

ESTADIO	CUARTEL I (%)	CUARTEL III (%)
BROTE	66,33	33,67
VERDE	70,07	29,93
MADURO	61,01	38,99

Fuente: Propia, 2009

Gráfico N°04: Comparación del volumen por estadio entre los Cuarteles I y III



Fuente: Propia, 2009

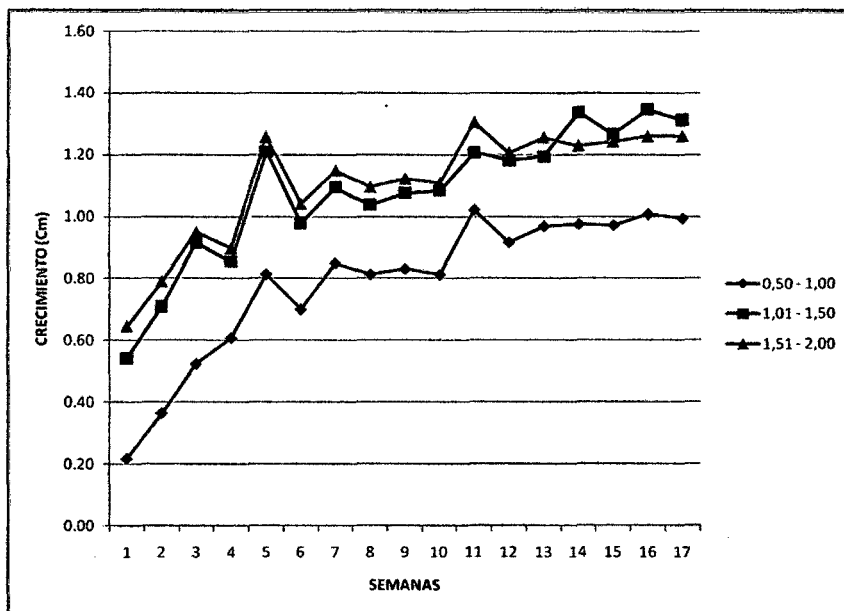
- **Crecimiento de brotes**

En los gráficos N°05 y N°06, se representan el desarrollo de los brotes por semana donde se observa con claridad que el crecimiento en las primeras semanas fue de 20 cm. semanales sin embargo al transcurrir el tiempo el desarrollo aumentó hasta alcanzar 1,34 metros por semana, hasta estabilizarse y alcanzar su altura máxima.

También se observó que en las semanas con abundancia de lluvias el crecimiento era más pronunciado, el máximo valor encontrado en ambos cuarteles durante un día lluvioso fue de 40 cm por día.

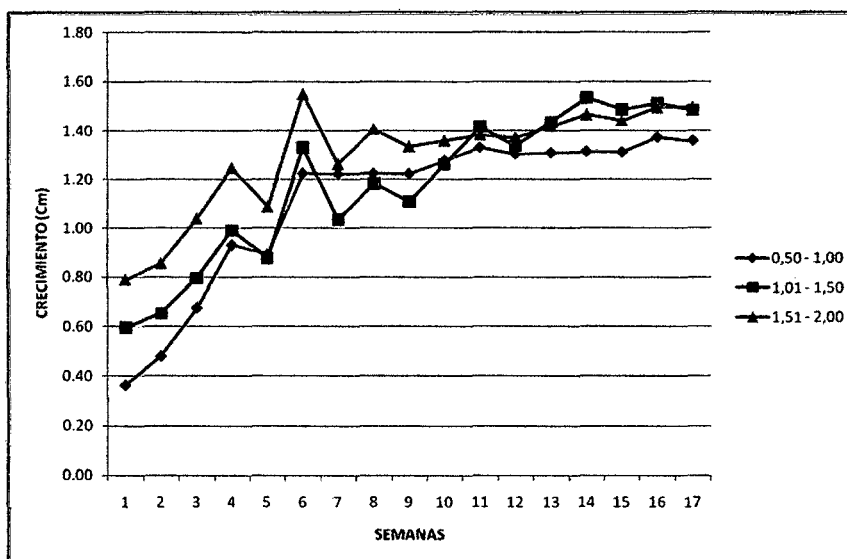
El crecimiento promedio durante el desarrollo del monitoreo de brotes fue de 12 cm/día en el cuartel I y de 14 cm/día en el cuartel III.

Grafico N°05: Desarrollo de los brotes por intervalos de altura inicial en el Cuartel I



Fuente: Propia, 2009

Grafico N°06: Desarrollo de los brotes por intervalos de altura inicial en el Cuartel III



Fuente: Propia, 2009

- **Biomasa obtenida en el Muestreo Destructivo**

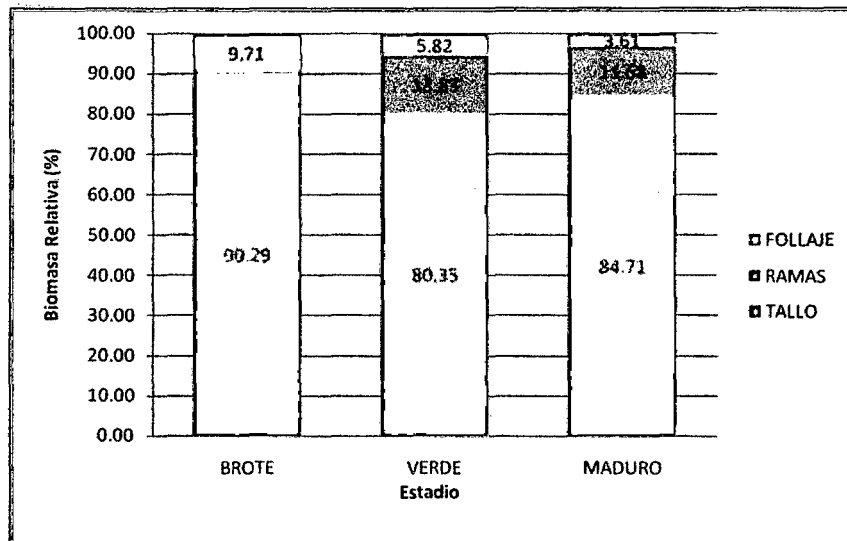
Para cada componente (ramas, hojas y tallo) el porcentaje de biomasa aérea promedio es de:

Cuadro N°11: Porcentaje de Biomasa promedio para cada componente de la *Guadua spp.*

Estadios	Componentes		
	Tallo	Ramas	Follaje
Brote	90,29	0,00	9,71
Verde	80,35	13,83	5,82
Maduro	84,71	11,68	3,61

Fuente: Propia, 2009

Gráfico N°07: Distribución de la biomasa aérea promedio en porcentaje por componente de la *Guadua spp.*



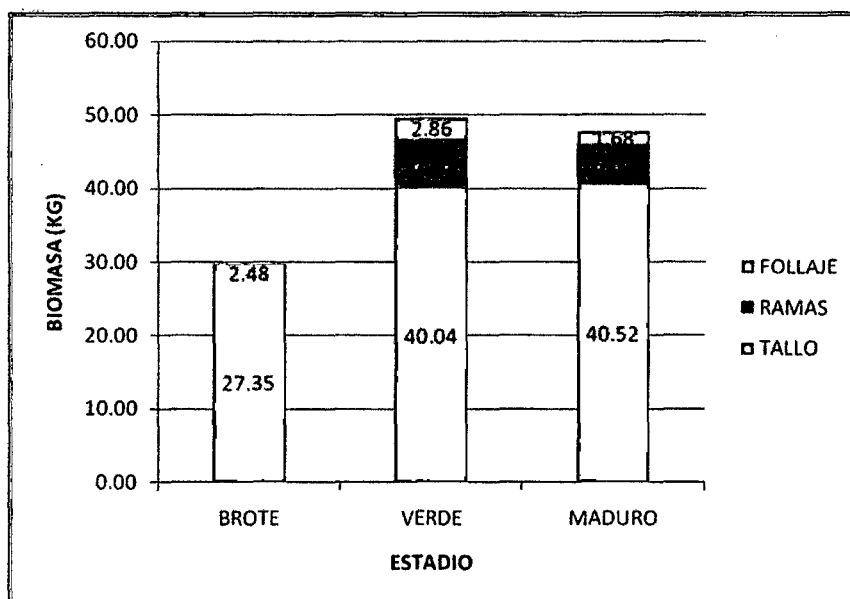
Fuente: Propia, 2009

Cuadro N°12: Biomasa aérea promedio para cada componente de la *Guadua spp.*

Estadios	Biomasa (Kg.)			
	Tallo	Ramas	Follaje	Total
Brote	27,35	0,00	2,48	29,83
Verde	40,04	6,75	2,86	49,65
Maduro	40,52	5,57	1,68	47,76

Fuente: Propia, 2009

Gráfico N°08: Distribución de la biomasa aérea promedio por componente de la *Guadua spp.*



Fuente: Propia, 2009

La biomasa promedio encontrada durante el muestreo destructivo distribuida en sus estadios es de 29,83 kg. en brotes, 49,65 kg. en verdes y 47,76 kg. en maduros de una muestra de 19 culmos por estadio. Esta biomasa representa una acumulación promedio de 42,41 kg.; sin embargo el aporte de cada estadio no es uniforme.

También se observó que los culmos maduros poseían ramas rotas debido a su sequedad, así mismo poseían muy poco follaje

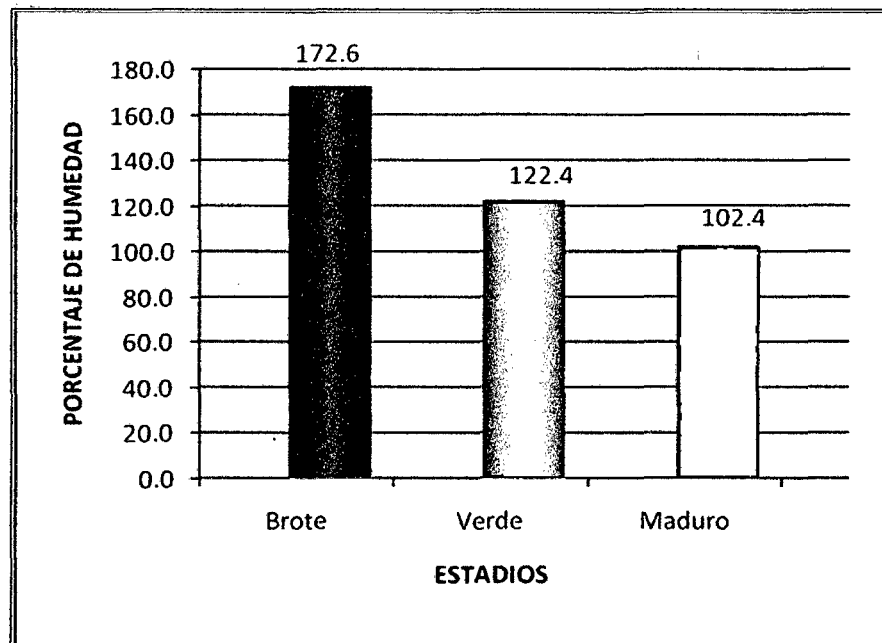
comparado con los culmos verdes que sí poseían las ramas y follaje en su totalidad. Todo esto genera pérdidas en el valor total de la biomasa en los culmos maduros.

3.1.2. Resultados de Laboratorio.

Contenido de Humedad (CH).

El promedio de Humedad en la biomasa aérea fue de 172,6%, 122,4% y 102,4%, en brotes, verdes y maduros respectivamente.

Gráfico N°09: Porcentaje de humedad total promedio por estadios



Fuente: Propia, 2009

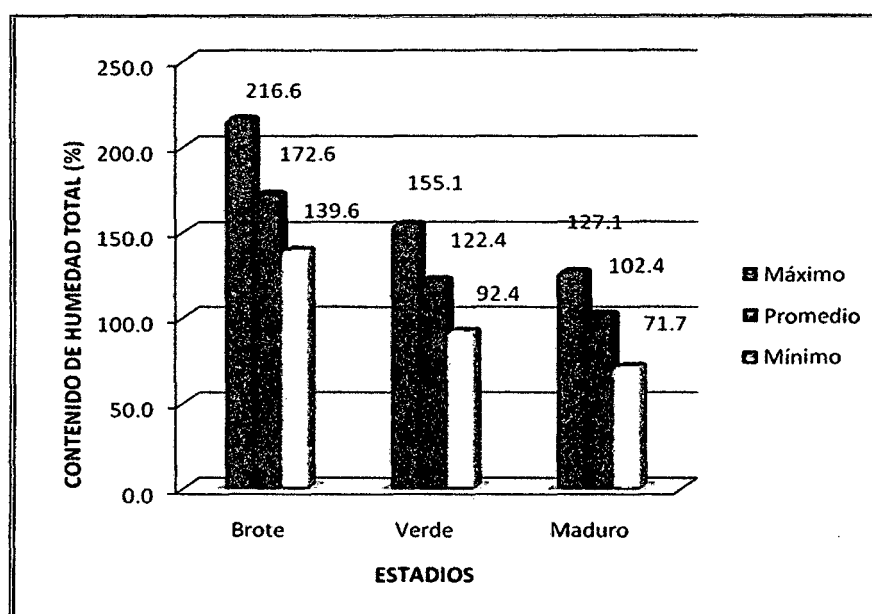
Sin embargo los valores mínimos y máximos fluctuaron entre 139,6% y 216,6% en brotes; 92,4% y 155,1% en culmos verdes y 71,7% y 127,1% en culmos maduros, dependiendo de los estadios de la marona. Se notó que la humedad de las muestras por cada culmo disminuía conforme las muestras se acercaban a la copa del culmo. (Ver Cuadro N°13)

Cuadro N°13: Rangos del contenido de humedad Total promedio

Componentes de la Marona	Número de muestras	Promedio %	Rango %		Desviación Estándar
			Máximo	Mínimo	
Brote	19	172,6	216,6	139,6	19,2
Verde	19	122,4	155,1	92,4	15,8
Maduro	19	102,4	127,1	71,7	13,6
Promedio	19	132,5	166,3	101,2	16,2

Fuente: Propia, 2009

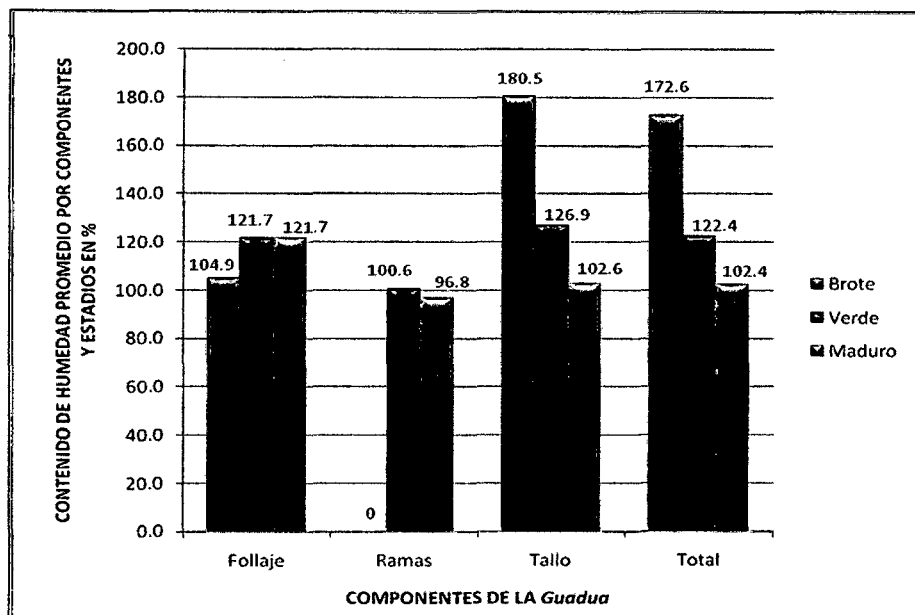
Gráfico N° 10: Contenido de Humedad (máximo, promedio y mínimo) en la biomasa aérea Total por estadios



Fuente: Propia, 2009

En cuanto al promedio de humedad en ramas fue de 96,8% en culmos maduros y 100,6% en culmos verdes; en follaje fue de 121,7% en culmos maduros, 121,7% en culmos verdes y 104,9% en brotes como se aprecia en el Grafico N° 11.

Gráfico N° 11: Contenido de Humedad por componentes y estadios en *Guadua* spp. - 2008



Fuente: Propia, 2009

Los resultados tuvieron una desviación estándar baja excepto en las ramas y hojas de los culmos maduros donde fueron de 18,5 y 19,8 lo cual se debe al estado de madurez en el que se encontraban las muestras colectadas.

Entre los estadios de la marona los brotes fueron los que presentaron el mayor contenido de Humedad seguido de los verdes y los de menor contenido de humedad fueron los maduros.

Cuadro N°14: Promedios de contenido de humedad de los diferentes componentes de las maronas maduras

Componentes de la Marona	Numero de muestras	Promedio (%)	Rango (%)		Desviación estándar
			Mínimo	Máximo	
Tallo	19	102,6	67,1	132,8	16,0
Ramas	19	96,8	63,9	127,3	18,5
Follaje	19	121,7	85,2	150,0	19,8
Total	19	102,4	71,7	127,1	13,6
Promedio		105,9	72,0	134,3	17,0

Fuente: Propia, 2009

Cuadro N°15: Promedios de contenido de humedad de los diferentes componentes de las maronas verdes

Componentes de la Marona	Numero de muestras	Promedio (%)	Rango (%)		Desviación estándar
			Mínimo	Máximo	
Tallo	19	126,9	87,2	173,4	21,3
Ramas	19	100,6	85,2	104,1	5,2
Follaje	19	121,7	108,3	150,0	14,6
Total	19	122,4	92,4	155,1	15,8
		117,9	93,3	145,6	14,2

Fuente: Propia, 2009

Cuadro N° 16: Promedios de contenido de humedad de los brotes

Componentes de la Marona	Numero de muestras	Promedio (%)	Rango (%)		Desviación estándar
			Mínimo	Máximo	
Tallo	19	180,5	144,1	244,5	23,7
Follaje	19	104,9	65,3	133,3	18,5
Total	19	172,6	139,6	216,6	19,2
Promedio		152,6	116,3	198,1	20,5

Fuente: Propia, 2009

3.1.3. Resultado del Procesamiento de datos

- **Ecuaciones para la biomasa aérea total de la *Guadua spp.***

Se obtuvieron datos de 57 culmos (19 por cada estadio), con los cuales se elaboraron ecuaciones de estimación de la biomasa aérea total de la *Guadua spp.* (BATGs); teniendo como variable dependiente a la biomasa aérea, y se consideró utilizar como variable independiente el DAN (no se consideró la altura como variable independiente debido a que no existe relación entre la altura de cada culmo y el diámetro; además, que por las características del crecimiento y desarrollo de la marona es difícil

estimar la altura total de un culmo en pie debido a la inclinación de la copa, pudiendo cometer errores en la medición).

El planteamiento de la prueba de hipótesis fue la siguiente:

Ho ≤ 9 Hipótesis nula

Hi > 9 Hipótesis planteada

Significación: $\alpha \leq 0.05$, confianza del 95%

Ecuaciones para la biomasa aérea utilizando la variable independiente altura (H)

Las ecuaciones de biomasa empleando la variable independiente altura (H), que obtuvieron el cuadrado medio del error (CME) más bajo para cada estadio fueron:

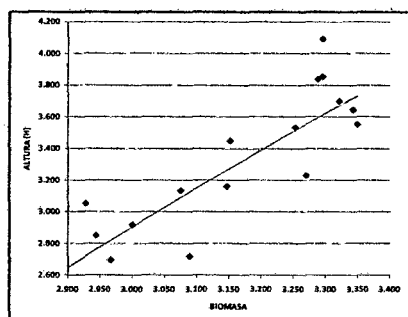
Cuadro N°17: Ecuaciones de biomasa aérea con variable independiente altura (H)

ESTADO	ECUACIÓN	R ²	CME
BROTE	$BAT_B = e^{(-4,531 + 2,473(\text{LnH}))}$	0,756	0,073
VERDE	$BAT_V = e^{(-10,602 + 4,273(\text{LnH}))}$	0,779	0,060
MADURO	$BAT_M = e^{(-3,277 + 2,185(\text{LnH}))}$	0,579	0,082

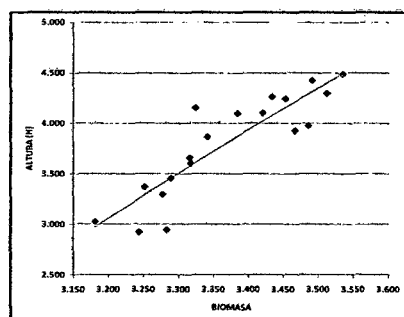
Fuente: Propia, 2009

Sin embargo estas ecuaciones a pesar de tener un CME adecuado no son satisfactorios debido a que el R² es bajo y a que hay un mal ajuste en la dispersión del modelo deseado tal como se aprecia en la Gráfica N°12.

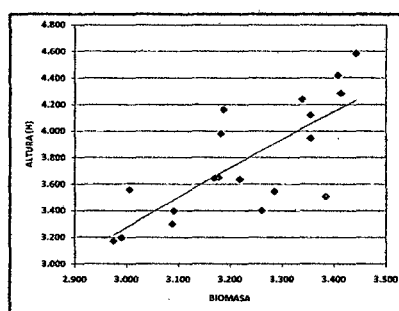
Gráfica N°12: BATGss utilizando la altura (H) como variable independiente



BROTOS



VERDES



MADUROS

Fuente: Propia, 2009.

Como podemos observar en la grafica la dispersión de los datos demuestra un mal ajuste de la ecuación por lo cual estas ecuaciones no pueden ser empleadas para la investigación.

La variable independiente altura (H) no puede ser empleada para la obtención de las ecuaciones no solo por tener valores bajos, sino también porque la altura de la marona no puede ser medida directamente con los equipos de medición (clinómetro) ya que mientras más alta es la copa se forma una curvatura más pronunciada, además la densidad del bosque no permite observar con claridad la ubicación correcta de la copa de cada uno de los culmos.

Ecuaciones para la biomasa aérea utilizando la variable independiente altura y diámetro

Las ecuaciones de biomasa empleando las variables independientes: altura (H) y diámetro a la altura normal (DAN), que obtuvieron los errores más bajos para cada estadio fueron:

Cuadro N°18: Ecuaciones de biomasa aérea con variable independiente altura (H) y diámetro (DAN)

ESTADO	ECUACIÓN	R²	CME
BROTE	$BAT_B = e^{(-4,601 + 0,978(\text{LnH}) + 1,912(\text{LnDAN}))}$	0,852	0,047
VERDE	$BAT_V = e^{(-7,192 + 4,105(\text{LnH}) - 1,253(\text{LnDAN}))}$	0,091	0,770
MADURO	$BAT_M = e^{(-1,560 - 0,309(\text{LnH}) + 2,538(\text{LnDAN}))}$	0,901	0,021

Fuente: Propia, 2009

Como se aprecia en las ecuaciones aplicadas tanto el R² como el cuadrado medio del error (CME) mejoran mucho; sin embargo existe un problema al aplicar la ecuación en los culmos verdes.

Las ecuaciones se generaron con las alturas tomadas durante el muestreo destructivo, por esta razón no fueron elegidas como ecuaciones prácticas para aplicarlas en campo.

Ecuaciones para la biomasa aérea utilizando la variable independiente diámetro

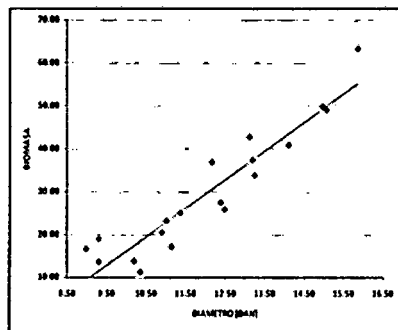
Se aplicaron tres modelos de ecuaciones: en el tallo y en las hojas y ramas juntas, las cuales no mostraron ninguna diferencia significativa comparada con las ecuaciones aplicadas en el total del culmo. Para poder elegir la mejor ecuación de biomasa aérea total del culmo, se consideró la bondad del ajuste, utilizando: el menor cuadrado medio del error (CME), el valor más alto del coeficiente de determinación (R²), la adecuada distribución, y la mejor predicción de los valores que se observa en la muestra.

Cuadro N°19: Ecuaciones de biomasa aérea aplicadas para el total del culmo

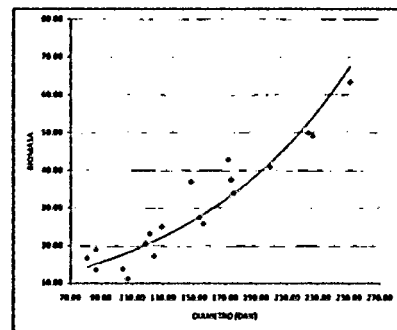
BIOMASA AEREA TOTAL			
ESTADO	ECUACIÓN	R²	ERROR
BROTE	$BAT_B = -50,712 + 6,681(DAN)$	0,879	27,021
	$BAT_B = -11,188 + 0,275(DAN)^2$	0,903	21,803
	$BAT_B = e^{(-3,349 + 2,678(LnDAN))}$	0,832	0,044
VERDE	$BAT_V = -61,663 + 8,95(DAN)$	0,792	107,813
	$BAT_V = -7,719 + 0,36(DAN)^2$	0,791	108,443
	$BAT_V = e^{(-2,43 + 2,485(LnDAN))}$	0,798	0,054
MADURO	$BAT_M = -68,234 + 9,424(DAN)$	0,889	54,517
	$BAT_M = -11,567 + 0,381(DAN)^2$	0,918	40,261
	$BAT_M = e^{(-2,01 + 2,319(LnDAN))}$	0,897	0,020

Fuente: Propia. 2009

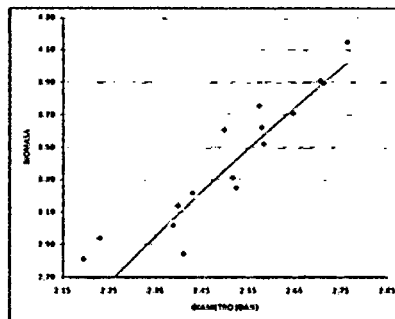
Gráfico N°13: BATGs con DAN, de las tres ecuaciones ajustadas para la biomasa aérea total de los brotes



Ecuación 01



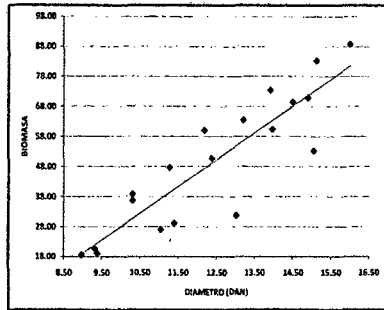
Ecuación 02



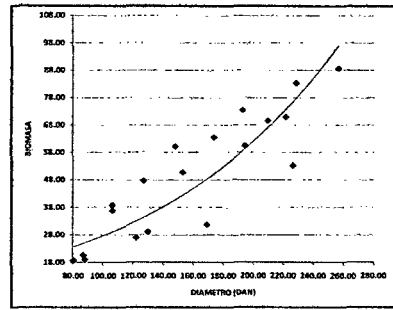
Ecuación 03

Fuente: Propia, 2009

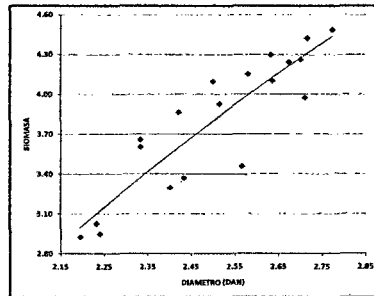
Gráfico N°14: BATGs con DAN, de las tres ecuaciones ajustadas para la biomasa aérea total de los culmos verdes



Ecuación 01



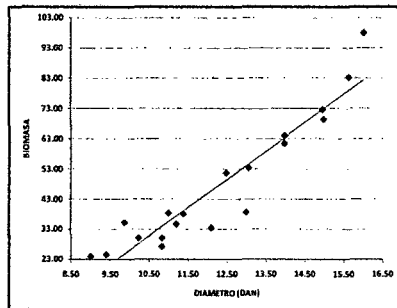
Ecuación 02



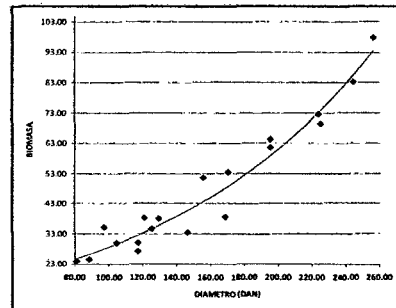
Ecuación 03

Fuente: Propia, 2009

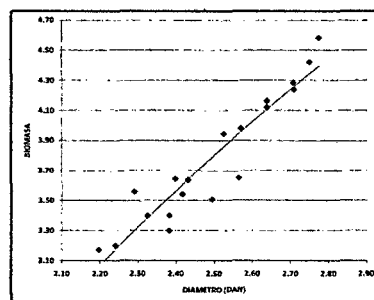
Gráfico N°15: BATGs con DAN, de las tres ecuaciones ajustadas para la biomasa aérea total de los culmos maduros



Ecuación 01



Ecuación 02



Ecuación 03

Fuente: Propia, 2009

En las gráficas mostradas por cada estadio se observa que la ecuación 03 muestra un buen ajuste en la dispersión de los datos

Como se muestra en el Cuadro N°20, estas son las tres ecuaciones elegidas para cada estadio:

Cuadro N°20: Mejores tres ecuaciones de biomasa aérea aplicadas para el total del culmo

ESTADO	ECUACIÓN
BROTE	$BAT_B = e^{(-3,349 + 2,678(\text{LnDAN}))}$
VERDE	$BAT_V = e^{(-2,43 + 2,485(\text{LnDAN}))}$
MADURO	$BAT_M = e^{(-2,01 + 2,319(\text{LnDAN}))}$

Fuente: Propia, 2009

- **Interpretación del error calculado para la ecuación de biomasa aérea total de *Guadua spp.***

El error asociado de cada uno de los coeficientes refleja cuan cercano está del valor real, siendo un error bajo aquel que se acerque más al valor de cero:

A continuación mostramos en el siguiente Cuadro N°21 la comparación entre los coeficientes y sus errores:

Cuadro N°21: Comparación entre los coeficientes y sus errores de las mejores tres ecuaciones

ESTADO	ECUACIÓN	COEFICIENTE	ERROR
BROTE	$BAT_B = e^{(-3,349 + 2,678(\text{LnDAN}))}$	-3,349	0,724
		2,678	0,292
VERDE	$BAT_V = e^{(-2,43 + 2,485(\text{LnDAN}))}$	-2,430	0,762
		2,485	0,303
MADURO	$BAT_M = e^{(-2,01 + 2,319(\text{LnDAN}))}$	-2,010	0,477
		2,319	0,191

Fuente: Propia, 2009

Como se observa los errores son bajos, esto de muestra que los coeficientes permiten generar resultados muy cercanos al valor real.

- **Estimación de biomasa aérea por estadio contenido en la *Guadua spp.***

Una vez seleccionadas y aplicadas las ecuaciones de biomasa por cada estadio en el número total de culmos encontrados mediante el censo del 2008 realizado en los cuarteles I y III, se obtuvo los siguientes resultados:

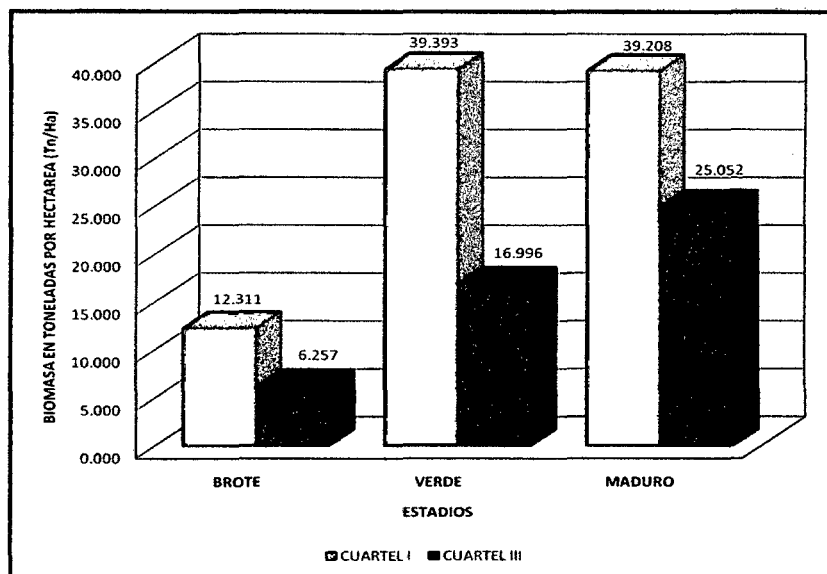
Cuadro N°22: Biomasa por cuartel y por hectárea en toneladas en el año 2008

CUARTEL I				
ESTADIO	N/cuartel	BIOMASA POR CUARTEL (Ton.)	N/ha	BIOMASA POR HECTAREA (Ton.)
BROTE	427	16,95684	310	12,31059
VERDE	1322	54,36049	958	39,39285
MADURO	1038	54,11900	752	39,20760
TOTAL	2787	125,43633	2020	90,91104
CUARTEL III				
ESTADIO	N/cuartel	BIOMASA POR CUARTEL (Ton.)	N/ha	BIOMASA POR HECTAREA (Ton.)
BROTE	279	9,91799	176	6,25651
VERDE	561	27,01104	353	16,99625
MADURO	787	39,83002	495	25,05192
TOTAL	1627	76,75905	1024	48,30468

Fuente: Propia, 2009

Comparando los resultados de la acumulación de biomasa total por hectárea de ambos cuarteles, se observa que el cuartel III es menor con un 53,13% en relación a los resultados obtenidos en el cuartel I.

Grafico N°16: Distribución de la biomasa en toneladas por hectárea por estadio para ambos cuarteles en el año 2008



Fuente: Propia, 2009

Para comparar el incremento de biomasa durante los años 2008 al 2009 en ambos cuarteles, se aplicaron las mismas ecuaciones por estadios al último censo realizado (censo del 2009).

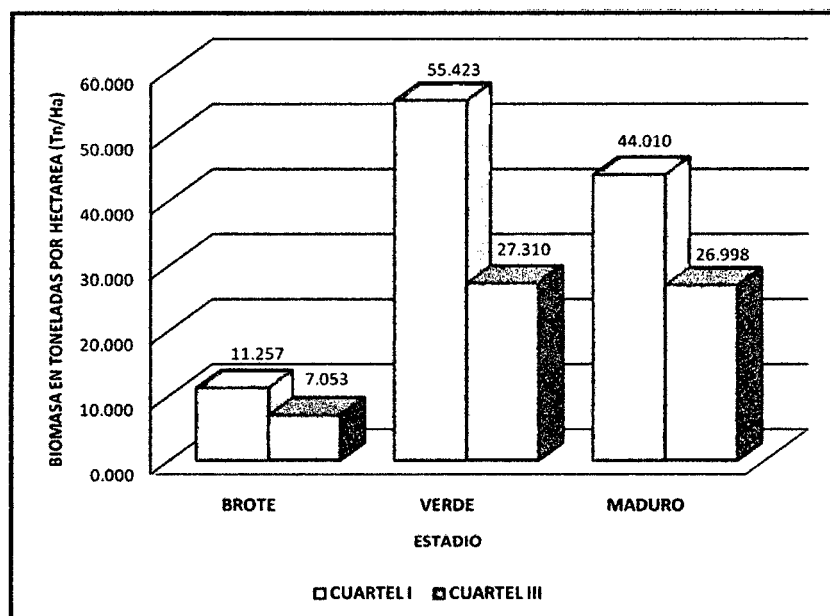
Cuadro N°23: Biomasa por cuartel y por hectárea en toneladas en el año 2009

CUARTEL I				
ESTADIO	N/cuartel	BIOMASA POR CUARTEL (Ton)	N/ha	BIOMASA POR HECTAREA (Ton)
BROTE	533	15,54345	386	11,25661
VERDE	1 653	76,47208	1 198	55,42260
MADURO	1 134	60,71444	822	44,00994
TOTAL	3 320	152,72997	2 406	110,68914
CUARTEL III				
ESTADIO	N/cuartel	BIOMASA POR CUARTEL (Ton)	N/ha	BIOMASA POR HECTAREA (Ton)
BROTE	362	11,19881	228	7,05339
VERDE	867	43,44589	545	27,31028
MADURO	845	42,96368	531	26,99848
TOTAL	2 074	97,60838	1 304	61,36215

Fuente: Propia, 2009

Comparando los resultados de la acumulación de biomasa total por hectárea de ambos cuarteles, se observa que el Cuartel III es menor con un 55,44% en relación a los resultados obtenidos en el Cuartel I.

Grafico N°17: Distribución de la biomasa en toneladas por hectárea por estadio para ambos cuarteles en el año 2009

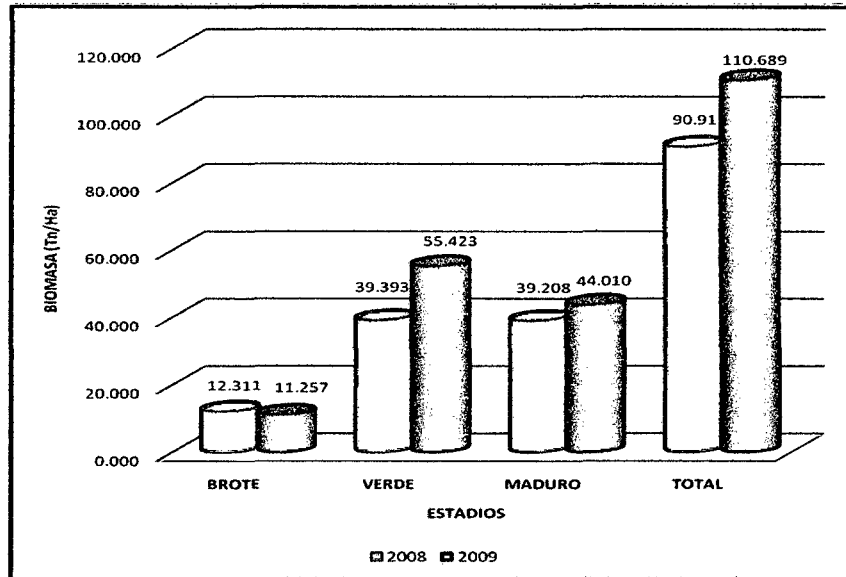


Fuente: Propia, 2009

- **Biomasa anual entre los cuarteles I y III durante el año 2008 – 2009**

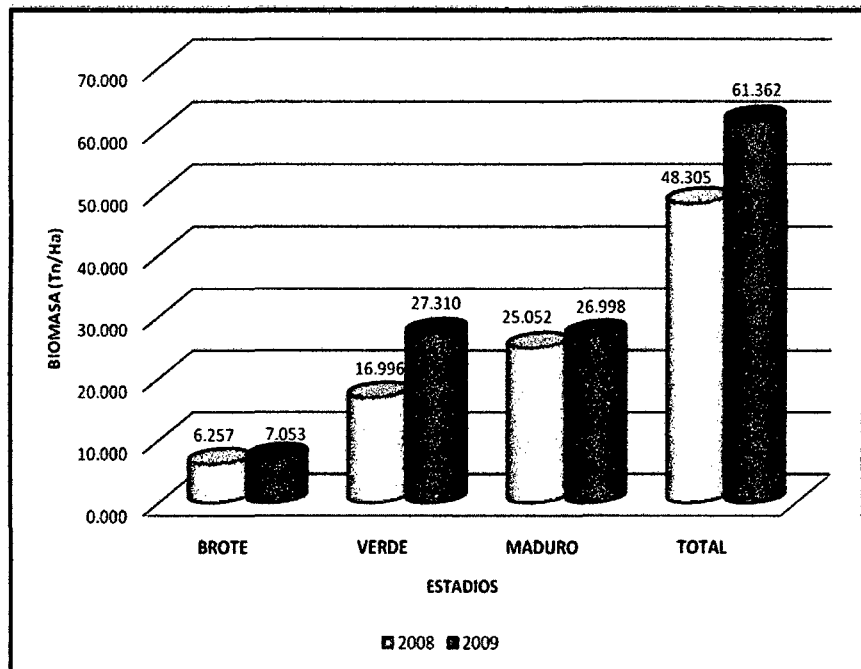
Obtenidos los resultados de biomasa por hectárea durante los dos censos realizados en ambos cuarteles es posible medir la biomasa acumulada del 2008 al 2009.

Grafico N°18: Acumulación de Biomasa en el Cuartel I entre los años 2008 y 2009



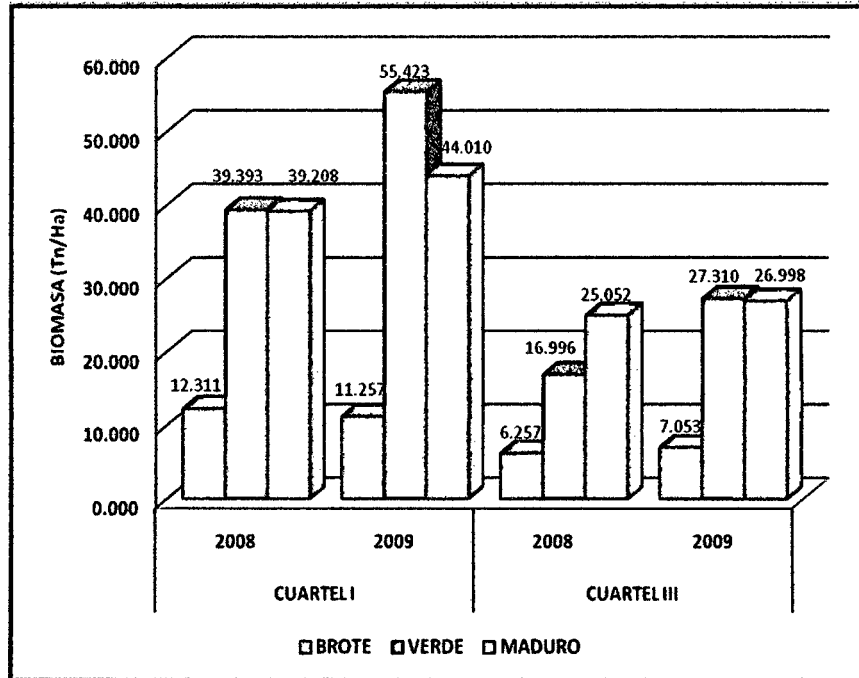
Fuente: Propia, 2009

Grafico N°19: Acumulación de Biomasa en el Cuartel III entre los años 2008 y 2009



Fuente: Propia, 2009

Grafico N°20: Acumulación de Biomasa en los Cuarteles I y III entre los años 2008 y 2009



Fuente: Propia, 2009

El incremento de biomasa total en el Cuartel I entre los años 2008 al 2009 fue de 19,778 Ton/Ha que representa un aumento del 21,76% respecto al valor inicial encontrado en el primer censo. Así mismo el incremento de biomasa en verdes y maduros fue de 40,69% y 2,05% respectivamente; en brotes hubo una disminución de biomasa de 8,56% a pesar de que la cantidad de brotes en el 2009 fue de 386 culmos/Ha y en el 2008 fue de 310 culmos/Ha, esto debido a que los brotes del año 2009 tuvieron un DAN promedio de 12,08 cm. en comparación con el año 2008 que fueron mayores con un DAN promedio de 13,60 cm.

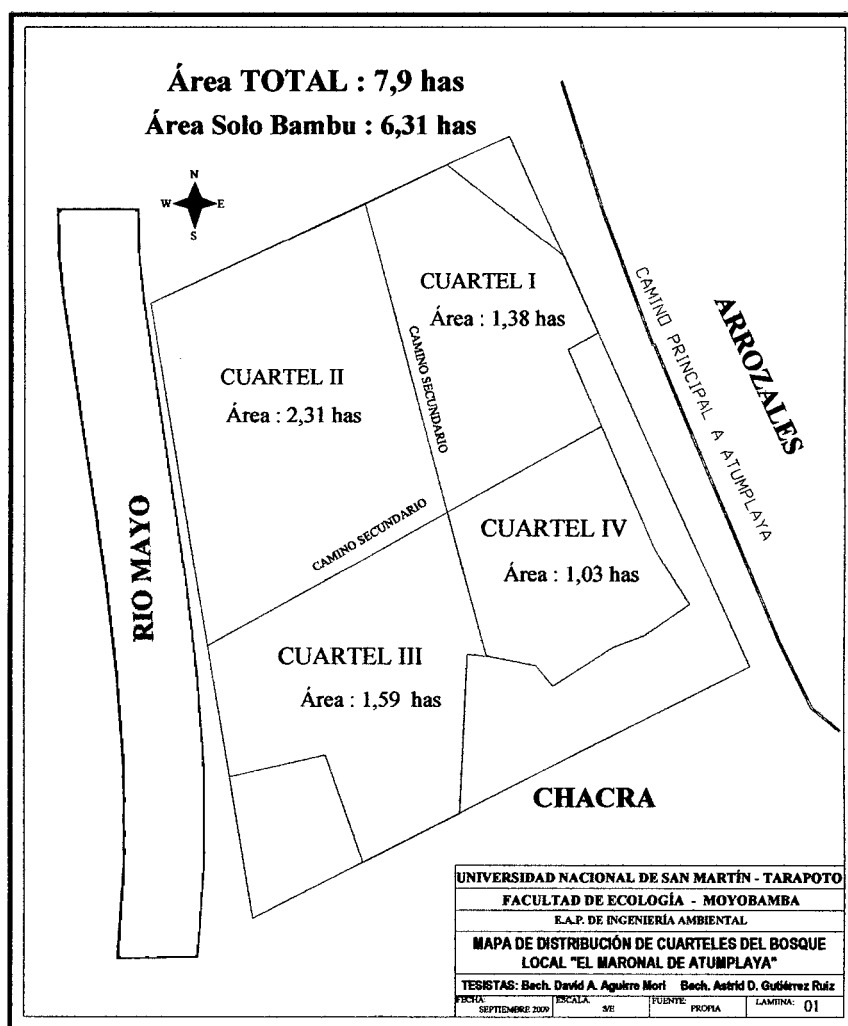
El incremento de biomasa total en el cuartel III entre los años 2008 al 2009 fue de 13,057 Ton/Ha que representa un aumento del 27,03% respecto al valor inicial encontrado en el primer censo. Así mismo el incremento de biomasa en brotes, verdes y maduros fue de 12,72% 60,68% y 7,77% respectivamente.

- **Estimación del contenido de biomasa promedio de la *Guadua spp.* en los cuarteles II y IV**

Conociendo que existen similitudes entre los cuarteles I y IV (delimitados por arrozales) y los cuarteles II y III (delimitados por el Río Mayo) se estimó la cantidad de culmos por hectárea, así se obtuvo la biomasa total en cada cuartel.

En la Figura N°11 se muestra las dimensiones y las características limítrofes del área con marona.

Figura N°11: Mapa de Distribución de Cuarteles del Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”



Fuente: Propia, 2009

A partir de la biomasa total encontrados en los Cuarteles I y III, y con la información del área de los Cuarteles II y IV se estimó la biomasa total de la siguiente manera:

- **Para el año 2008**

1,59Ha del C-III \longrightarrow 76,75905Ton de biomasa

2,31Ha del C-II \longrightarrow X

X = 111,51787 Ton de Biomasa en el Cuartel II

1,38Ha del C-I \longrightarrow 125,43633Ton de biomasa

1,03Ha del C-IV \longrightarrow X

X = 93,62277 Ton de Biomasa en el Cuartel IV

- **Para el año 2009.**

1,59Ha del C-III \longrightarrow 97,60838Ton de biomasa

2,31Ha del C-II \longrightarrow X

X = 141,80840 Ton de Biomasa en el Cuartel II

1,38Ha del C-I \longrightarrow 152,72997Ton de biomasa

1,03Ha del C-IV \longrightarrow X

X = 113,99411 Ton de Biomasa en el Cuartel IV

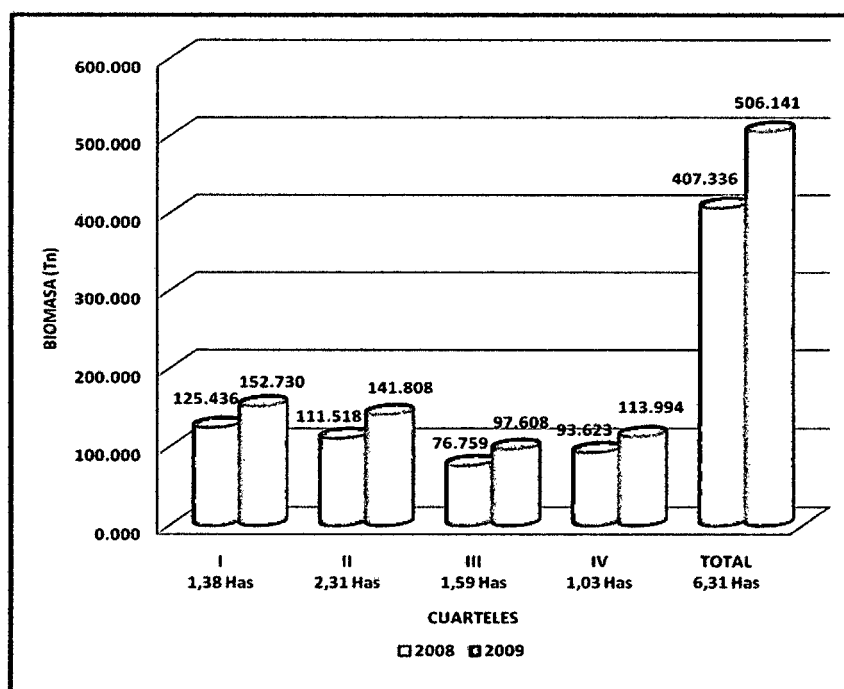
En el Cuadro N°24 se muestra la biomasa en los cuatro cuarteles en los años 2008 y 2009.

Cuadro N°24: Biomasa en los Cuarteles I, II, III y IV en los años 2008 y 2009

BIOMASA TOTAL POR CUARTEL - 2008			
CUARTELES	AREA (HA)	N/CUARTEL	BIOMASA (Ton) /CUARTEL
I	1,38	2 787	125,43633
II	2,31	2 364	111,51787
III	1,59	1 627	76,75905
IV	1,03	2 080	93,62277
TOTAL	6,31	8 858	407,33602
BIOMASA TOTAL POR CUARTEL - 2009			
CUARTELES	AREA (HA)	N/CUARTEL	BIOMASA (Ton) /CUARTEL
I	1,38	3 320	152,72997
II	2,31	3 013	141,80840
III	1,59	2 074	97,60838
IV	1,03	2 478	113,99411
TOTAL	6,31	10 885	506,14086

Fuente: Propia, 2009

Grafico N°21: Biomasa en los Cuarteles I, II, III y IV en los años 2008 y 2009



Fuente: Propia, 2009

- **Cálculo promedio del contenido de carbono de la *Guadua spp.* en el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”**

Para encontrar el contenido promedio de carbono en el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” se multiplico a la biomasa de los cuarteles por 0,45 (Panel Intergubernamental del Cambio Climático - IPCC).

Cuadro N°25: Contenido de carbono (Stock) por cuarteles en los años 2008 y 2009

CARBONO TOTAL POR CUARTEL - 2008				
CUARTEL	AREA (HA)	N/CUARTEL	BIOMASA (Ton) POR CUARTEL	CARBONO POR CUARTEL
I	1.38	2787	125.43633	56.44635
II	2.31	2364	111.51787	50.18304
III	1.59	1627	76.75905	34.54157
IV	1.03	2080	93.62277	42.13025
TOTAL	6.31	8858	407.33602	183.30121
CARBONO TOTAL POR CUARTEL - 2009				
CUARTEL	AREA (HA)	N/CUARTEL	BIOMASA (Ton) POR CUARTEL	CARBONO POR CUARTEL
I	1.38	3320	152.72997	68.72849
II	2.31	3013	141.80840	63.81378
III	1.59	2074	97.60838	43.92377
IV	1.03	2478	113.99411	51.29735
TOTAL	6.31	10885	506.14086	227.76339

Fuente: Propia, 2009

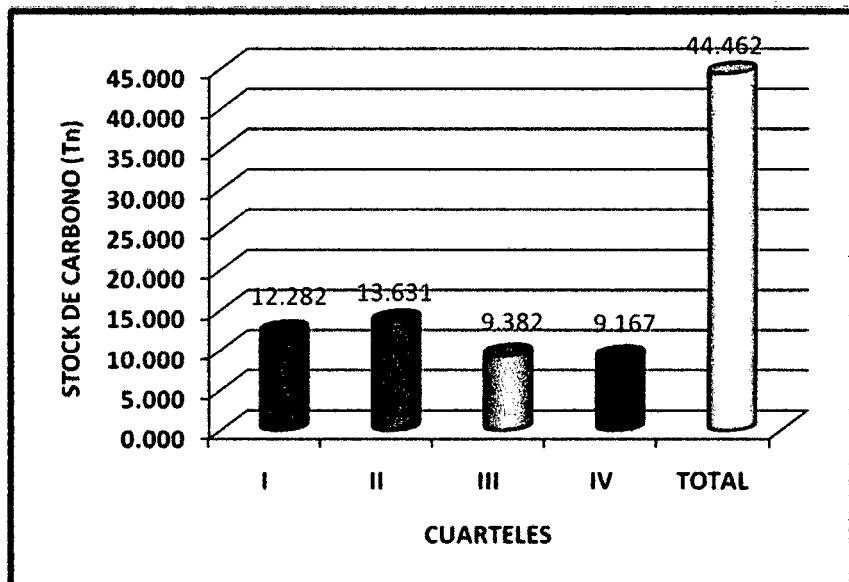
Esto quiere decir que en el área comprendida sólo por marona (6,31 has) existía en stock 183,30 toneladas de carbono en el 2008 y un año después el stock de carbono fue de 227, 76 toneladas de carbono perteneciente sólo a la biomasa aérea.

- **Flujo anual de carbono capturado por la especie *Guadua spp.* durante los años 2008 y 2009**

El flujo anual de carbono capturado se ha calculado restando el stock de carbono obtenido el año 2009 con el stock del 2008; la diferencia de ambos años nos dará como resultado la captura anual de carbono en la plantación.

Los resultados obtenidos son:

Gráfico N°22: Flujo anual de carbono capturado (2008 al 2009)



Fuente: Propia, 2009

Como se puede observar en la Gráfica N°22 el carbono anual capturado en la plantación es de 12,282 Ton de C en el Cuartel I, 13,631 Ton de C en el Cuartel II, 9,382 Ton de C en el Cuartel III y 9, 167 Ton de C en el cuartel IV, haciendo un total de **44,462 TonC/año** en las 6,31 has; lo que finalmente daría **7,046 TonC/Ha/año** en el Bosque local “El Maronal de Atumplaya” durante el periodo 2008 - 2009.

Lo cual convertido a CO₂ en la atmósfera es:

Elemento	Peso atómico
Carbono (C)	12
Dióxido de C (CO ₂)	44

Una tonelada de carbono equivale a 3,667 Ton de CO₂ (IPCC en la Guía para Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero)

44,462 Ton de C * 3,667 = **163,042 Ton de CO₂** capturado de la atmósfera y convertido a biomasa aérea (culmo, ramas y hojas) de *Guadua spp.*; lo que representa **25,839 Ton de CO₂** atmosférico capturado en una **hectárea al año**.

El Potencial de carbono capturado por el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” en sus 7,9 ha sería de 55,663TonC/año, esto nos indica que en la actualidad el bosque podría de capturar 11,201 TonC/año adicionales a los montos actuales, siempre y cuando se realice un mejor manejo del área.

Cuadro N° 26: Fijación anual de biomasa, carbono y dióxido de carbono en el Bosque local “El Maronal de Atumplaya” 2008 - 2009

CUARTEL	AREA (Has)	BIOMASA ACUMULADA (Ton)		INCREMENTO ANUAL DE BIOMASA (Ton)	FIJACIÓN ANUAL DE CARBONO (Ton)		FIJACIÓN ANUAL DE CO ₂ ATM (Ton)	
		2008	2009		MÍN	PROM.	MÍN	PROM.
I	1,38	125,44	152,73	27,29	12,28	13,65	45,03	50,04
II	2,31	111,52	141,81	30,29	13,63	15,15	49,98	55,53
III	1,59	76,76	97,61	20,85	9,38	10,42	34,40	38,22
IV	1,03	93,62	113,99	20,37	9,17	10,19	33,61	37,35
TOTAL	6,31	407,34	506,14	98,80	44,46	49,40	163,03	181,14

Fuente: Propia, 2009.

Como se aprecia en el cuadro N° 23, La *Guadua spp.*, en el Bosque local captura entre 44,46 y 49,40 Ton de C/año, y entre 7,05 y 7,83 Ton de C/Ha/año.

En el proceso fotosintético anual de la marona en el bosque se fijaron entre 163,03 y 181,14 Ton de CO₂ atmosférico solamente en la biomasa aérea (tallo, ramas y hojas) durante el periodo 2008 – 2009.

3.2. DISCUSIONES

- **Contenido de humedad**

Los culmos brotes y verdes tienen un contenido inicial de humedad mayor que los maduros, el contenido de humedad en las diferentes partes del tallo es casi el mismo para maronas inmaduras, pero en los maduros la humedad decrece con la altura del tallo. Los maronales con mayor densidad aparente y real son los que poseen suelos con mayor volumen de poros y por consiguiente pueden retener mas humedad.

El promedio de Humedad en la biomasa aérea fue de 172,6%, 122,4% y 102,4%, en brotes, verdes y maduros respectivamente, teniendo un promedio de humedad de 132,46% lo que indica que esta especie tiene un mayor contenido de humedad que otras, esto se debe a que cumple una función de bomba y almacenamiento de agua durante las épocas de lluvia, lo almacena tanto en el sistema rizomático como en el tallo, liberándolo paulatinamente al suelo durante las épocas secas.

- **Intervalos diamétricos**

En los censos realizados a los Cuarteles I y III en los años 2008 y 2009 dentro del Bosque Local “El Maronal de Atumplaya”, se obtuvo un diámetro promedio de 12,60 cm aproximadamente entre los tres estadios (brote verde y maduro), en los cuales los diámetros más representativos en ambos cuarteles van desde los 11 a 15 cm de diámetro.

Estos resultados coinciden con los de Castaño (2004), donde menciona que la Guadua nace con un diámetro definido, el cual es mayor en la base que en el ápice de la planta. Existe una gran variedad en los diámetros de los culmos de la marona (la medida utilizada es el diámetro a la altura del pecho 1,30 metros). Se han registrado diámetros desde 5 hasta 17 cm. El promedio general se calcula en 11 cm., como muestran algunas investigaciones (tesis de grado y Planes de manejo de las corporaciones Autónomas Regionales de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca).

- DAP: 11,06 cm (Roa, Ramiro)
- DAP: 9,56 cm (Agudelo, Bladimir)
- DAP: 10,20 cm (Londoño y Prieto)
- DAP: 12,50 cm (Planes de Manejo)
- DAP Promedio: 10,83 cm

Al relacionar la densidad de un maronal con los diámetros de los individuos que lo componen, se encuentra una tendencia a diámetros mayores en los sitios donde la densidad es más baja, es decir, que se presenta una relación inversamente proporcional entre la densidad del maronal y los diámetros de los individuos.

Como se puede observar el diámetro promedio obtenido de la *Guadua spp.* (12,60 cm) es mayor al promedio de la marona como género en otras investigaciones (10,83 cm), debido a que la *Guadua spp.* es una especie que tiene una densidad poblacional baja, es decir, que los nuevos brotes crecen muy distantes unos de otros por lo que no hay competencia entre ellos.

- **Crecimiento de brotes**

En la *Guadua spp.*, se encontró que en las primeras semanas los brotes crecieron 20 cm/semanales, además se observó que en las semanas con abundancia de lluvias el crecimiento era más pronunciado, el máximo valor encontrado durante un día lluvioso fue de 40 cm/día. El crecimiento promedio de los brotes fue de 13 cm/día.

En la *Guadua angustifolia* Kunth se tienen reportes de plantas que han presentado incrementos de altura de 21 cm/día (Castaño 2004).

- **Distribución de la biomasa aérea por componentes**

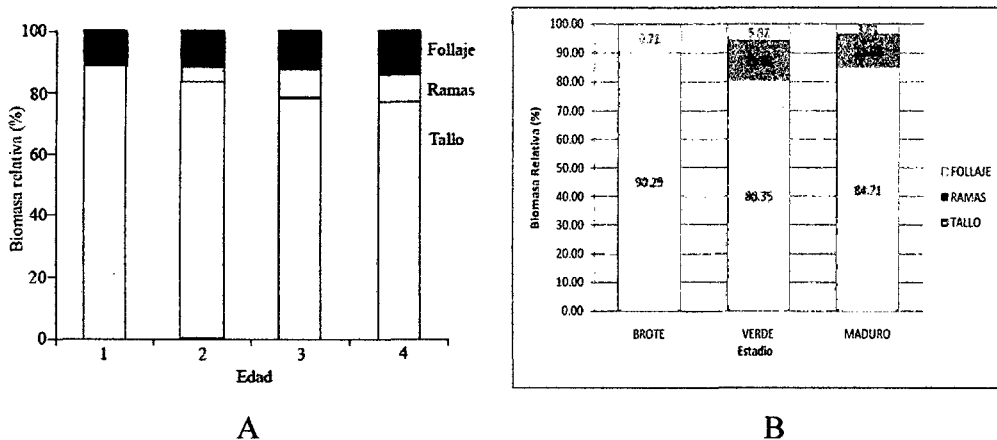
La biomasa por componentes fue evaluada de los tres principales estadios de la *Guadua spp.* (brote, verde y maduro), esto debido a que el cuarto estadio (sobre maduro) es extraído y eliminado del maronal principalmente por el riesgo que pueden ocasionar si cayeran sobre algún trabajador, además, son

picados y acumulados para generar un mayor aporte de biomasa y materia orgánica en el suelo del propio maronal.

En la investigación de Castañeda, *et al.*, 2005 denominado “Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*, Veracruz – México” evaluaron cuatro estadios, donde encontraron que a pesar de que la biomasa total de los componentes aumenta en las nuevas generaciones, la proporción de biomasa asignada al tallo se reduce conforme aumenta la edad del culmo, debido al desarrollo de las ramas y el follaje que en conjunto representan 11.6% en el primer año, pero aumenta hasta 24% en el cuarto.

En nuestro caso también se aprecia que la proporción de biomasa asignada al tallo de una plantación de *Guadua spp.*, disminuye del estado de brote a verde; sin embargo, en el estado maduro esta biomasa relativa tiene un ligero aumento esto se debe a que por la sequedad de las ramas existen pérdidas que incrementan el porcentaje de biomasa en el tallo. Tal como se aprecia en las figuras de Biomasa relativa en porcentaje.

Figura 22. Distribución de la biomasa aérea por componente y edad de culmo en una plantación de: (A) *Bambusa oldhamii*; y (B) *Guadua spp.*



- **Coefficiente de carbono utilizado**

Se ha comprobado que el porcentaje de carbono acumulado en la biomasa forestal es de 45% a 55%; generalmente se utiliza 50% como promedio para

encontrar el porcentaje de carbono en el bosque (Brown *et al.*, Goudrian, Schroeder *et al.*, Hoen y Solberg, Boscolo *et al.*, Delaney *et al.*, Ramírez *et al.*, Ortiz todos citados por Lopera y Gutiérrez, 2000); sin embargo, en este estudio se utilizó el valor mínimo (45%) con la finalidad de no sobre estimar el contenido total de carbono.

También se arribó a este porcentaje, como un valor estándar en el I Simposium Internacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales (Chile, 2001), utilizado también por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

Por todo lo expuesto es que no fue necesario realizar el ensayo de Laboratorio para hallar el contenido promedio de Carbono para la *Guadua spp.*, debido a los altos costos que incurren estos ensayos fuera del país.

- **Cantidad de Carbono de la *Guadua spp.* comparada con otras investigaciones**

La cantidad de Carbono capturado en el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” de la *Guadua spp.* fue de 7,046 Ton de C/Ha/año, lo cual equivale a un 21,71% menos que la *Guadua angustifolia* Kunth que fue de 9 Ton de C/Ha/año según el proyecto “Cualificación del efecto sumidero de carbono de la *Guadua angustifolia* Kunth” realizado por el Centro Nacional de investigaciones del Café-CENICAFE.

Cuadro N°27: Comparación de carbono capturado en Ton de C/ha/año entre la *Guadua angustifolia* Kunth (Colombia) y *Guadua spp.* (Perú)

Colombia	Perú
<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	<i>Guadua spp.</i>
9 Ton de C/Ha/año	7,046 Ton de C/Ha/año

Esta diferencia se debe a que estas dos especies son diferentes en su densidad poblacional; la *Guadua spp.*, tiene una menor densidad poblacional mientras que la *Guadua angustifolia* Kunth tiene una densidad poblacional mayor, lo que le permite tener mayor biomasa en una misma área. Esto influye en la

capacidad de captura de carbono pero no significa que la especie en estudio sea menos importante.

Lo anterior revela el potencial de la marona como captadora del dióxido de carbono atmosférico, información fundamental y necesaria para ingresar al sistema internacional de comercio de derechos de emisión, lo cual traerá beneficios adicionales para los inversionistas y agricultores que la cultiven y siembren.

- **Densidad**

En el censo realizado el 2008 en el Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” se encontró una densidad poblacional promedio de 1522 culmos/ha, mientras que en el censo del 2009 la densidad promedio fue de 1855 tallos/ha.

Castaño 2004, nos describe que la densidad es variable incluso en el mismo maronal. Como se puede observar en el Cuadro N°28 la densidad puede variar.

Cuadro N°28: Densidad poblacional

Descripción	Densidad culmos/ha
Pocos individuos	1000-2000 culmos/ha
Muchos individuos	8000-10000 culmos/ha
Más frecuente (Población manejada)	2500-3500 culmos/ha

Fuente: Guadua para todos

Como se puede comparar, la especie en estudio entra en la categoría de pocos individuos (1000-2000 tallos/ha), esto debido a su desarrollo natural.

3.3. CONCLUSIONES

- El Stock de Carbono de la plantación de *Guadua spp.* dentro del Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” durante los años del 2008 y 2009 fue de 183,301 Ton de C y 227,763 Ton de C respectivamente, lo que demuestra que **el Potencial de Captura de Carbono en este bosque es de 44,462 Ton de C/año, lo que equivale a 7,046 Ton de C/Ha/año.**

El Bosque de 6,31 Has de maronas captura de la atmósfera **163,027 Ton de CO₂** por **año**, y posee un stock de **835,13 Ton de CO₂** capturado sólo en la parte aérea (tallo, ramas y hojas), en el presente año.

El Potencial de captura de carbono en las 7,9 Has del Bosque Local “El Maronal de Atumplaya” es de 55,663TonC/año, esto nos indica que en la actualidad el bosque puede capturar 11,201 TonC/año adicionales a los montos actuales, siempre y cuando se realice un mejor manejo del área.

- Las Ecuaciones generadas: $BAT_{brote} = e^{(-3,349 + 2,678(\ln DAN))}$; $BAT_{verde} = e^{(-2,43 + 2,485(\ln DAN))}$ y $BAT_{maduro} = e^{(-2,01 + 2,319(\ln DAN))}$, todas del tipo logarítmicas, permiten estimar los montos de carbono por estadio de la *Guadua spp.*; las cuales pueden ser utilizadas en otras plantaciones de la misma especie. Estas ecuaciones tienen la ventaja de hacer más fácil la evaluación en el campo, debido a que sólo utilizamos el DAN para estimar la biomasa aérea total por estadios.
- La metodología aplicada demostró ser viable y no generó muchos gastos, el utilizar al DAN como única variable independiente simplifica el trabajo de campo y permite estimar el carbono capturado sin la necesidad de realizar estudios en laboratorio, los cuales son costosos y de difícil acceso en nuestro país.
- La *Guadua spp.* es un importante sumidero de carbono debido a que la plantación puede ser cosechada a partir del quinto año de siembra y puede alcanzar su madurez al octavo año.

- El Potencial de Captura de carbono por la biomasa aérea de la marona en el Valle del Alto Mayo tomando en cuenta que además de las 6,31 Has de plantaciones de marona en el Bosque local de Atumplaya, existen 300 Has de maronas en el valle, que sumadas harían un total de 306,31has con un potencial de captura de carbono de 2 158,34 Ton C/año y una captura de 7 913,93 Ton de CO₂/año. En el Valle del Alto Mayo existen 20 067,27Has de suelo tipo A2si (los mismos suelos encontrados en el Bosque Local el Maronal de Atumplaya); en los cuales existe grandes posibilidades para la siembra y cultivo de la marona. Esto equivaldría a una captura de carbono de 141 394 TonC/año al cabo de 8 años del sembrado de la marona.
- Se concluyó que durante el desarrollo de la *Guadua spp.*, la mayor eficiencia de captura de carbono se dio en el estadio de los brotes, debido a que el culmo se encuentra en desarrollo y asimila gran cantidad de carbono; y el mayor valor económico - ecológico se presentó en el estadio maduro, ya que concluyo su desarrollo y la incorporación de carbono es mínima, los mismos que están en condiciones optimas de cosecha para su tratamiento y comercialización generando empleo y economía local.
- Se rechazó la hipótesis planteada ya que el potencial de captura de carbono de la *Guadua spp.* fue de 7,046 Ton de C/Ha/año en comparación con lo planteado de 9 Ton de C/Ha/año de la *Guadua angustifolia*; debido a que es un bosque natural con una densidad poblacional baja, con un promedio de 1522 culmos por Ha en contraste a una plantación manejada donde la densidad poblacional con frecuencia fluctúa entre 2500 y 3500 culmos por Ha.

3.4. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar las fórmulas obtenidas en este estudio para estimar la biomasa de la *Guadua spp.*; también realizar estudios similares en otras maronas para ampliar el conocimiento científico y así conocer cuál de estas especies es la más recomendable como capturadora de carbono en nuestro departamento.
- Se recomienda hacer más estudios referentes a los Servicios Ambientales y a la valoración de las mismas en especies del Género Guadua; no sólo en Captura de Carbono sino en los otros servicios ambientales que no son menos importantes; uno de ellos es su comportamiento como una bomba de almacenamiento de agua, cuyo funcionamiento es el principio de “Vasos Comunicantes”, donde en épocas húmedas absorbe importantes volúmenes de agua que almacena en las cavidades porosas del suelo, en su sistema rizomático y en los entrenudos del tallo; también cumple funciones protectoras respecto al control de la erosión y la protección de taludes, entre otras.
- San Martín debería liderar un Proceso de certificación de bosques para la compensación por bonos de captura de carbono, así se obtendrían ingresos que ayudarían a cuidar y promover la siembra de especies forestales en nuestra región.
- Es necesario realizar monitoreos y bases de datos relacionados a la capacidad de acumulación de biomasa y carbono en especies forestales y así aprovechar las oportunidades económicas que genera este mecanismo de desarrollo limpio.
- Promover e incentivar estudios relacionados a correlaciones entre la biomasa total y el DAN de especies forestales con la finalidad de formar profesionales con experiencia en el campo de Captura de Carbono en especies Forestales.
- Incorporar programas en asignaturas que realicen cálculos de retenciones de carbono y dióxido de carbono equivalente, así mismo debería reforzarse la base forestal, estadística y química relacionándolas con estudios de Captura de Carbono.

- Es necesario contar con el apoyo de especialistas en estadística e ingenieros forestales, principalmente en la elaboración del Diseño de la Investigación y en la etapa de Procesamiento de datos.
- Se recomienda que en los posibles estudios en especies del género *Guadua*, utilizar por lo menos un equipo de trabajo de 4 personas con la finalidad de no tener tiempos muertos en la etapa de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASANTES M., Emilio Rodrigo. 2003. “Silvicultura y Fisiología Vegetal Aplicada”. Editorial Friend’s S.A. Primera Edición. Quito - Ecuador.
- CASTAÑEDA M., Arturo *et al.* 2005. “Acumulación de Carbono en la Biomasa Aérea de una Plantación de *Bambusa oldhamii*”. Agrociencia. México.
- CASTAÑEDA M., Arturo. 2005. “Potencial del Bambú para la Captura de Carbono y el Establecimiento de Plantaciones Forestales”. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Delegación Puebla. Departamento de Servicios Forestales y de Suelos. México.
- CASTAÑO N., Francisco; MORENO, Rubén Darío. 2004. “Guadua pata Todos: Cultivo y Aprovechamiento”. Corporación Autónoma regional de Risalda. Colombia.
- CATPO CH., Jorge Enrique.2004. “Determinación de la Ecuación Alométrica de *Pinus patula* y Estimación del Contenido de Carbono en su Biomasa Arbórea en Porcón, Cajamarca - Perú”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú.
- DELGADILLO R., Marcela *et al.* 2006. “Manual de Monitoreo de Carbono en Sistemas Agroforestales”. Comisión Nacional Forestal y AMBIO S.C. DE R.L. Chiapas - México.
- GAYOSO, Jorge *et al.* 2001. “Guía para la Formulación de proyectos Forestales de Carbono”. Universidad Austral de Chile. Valdivia - Chile.
- JIMÉNEZ P., Javier *et al.* 2008. “Capacidad de Captura de carbono en Ecosistemas Mixtos en el Estado de Tamaulipas”. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tamaulipas - México.
- LAPEYRE Z., Tatiana Eloísa. 2003. “Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea, en Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en San Martín”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú.

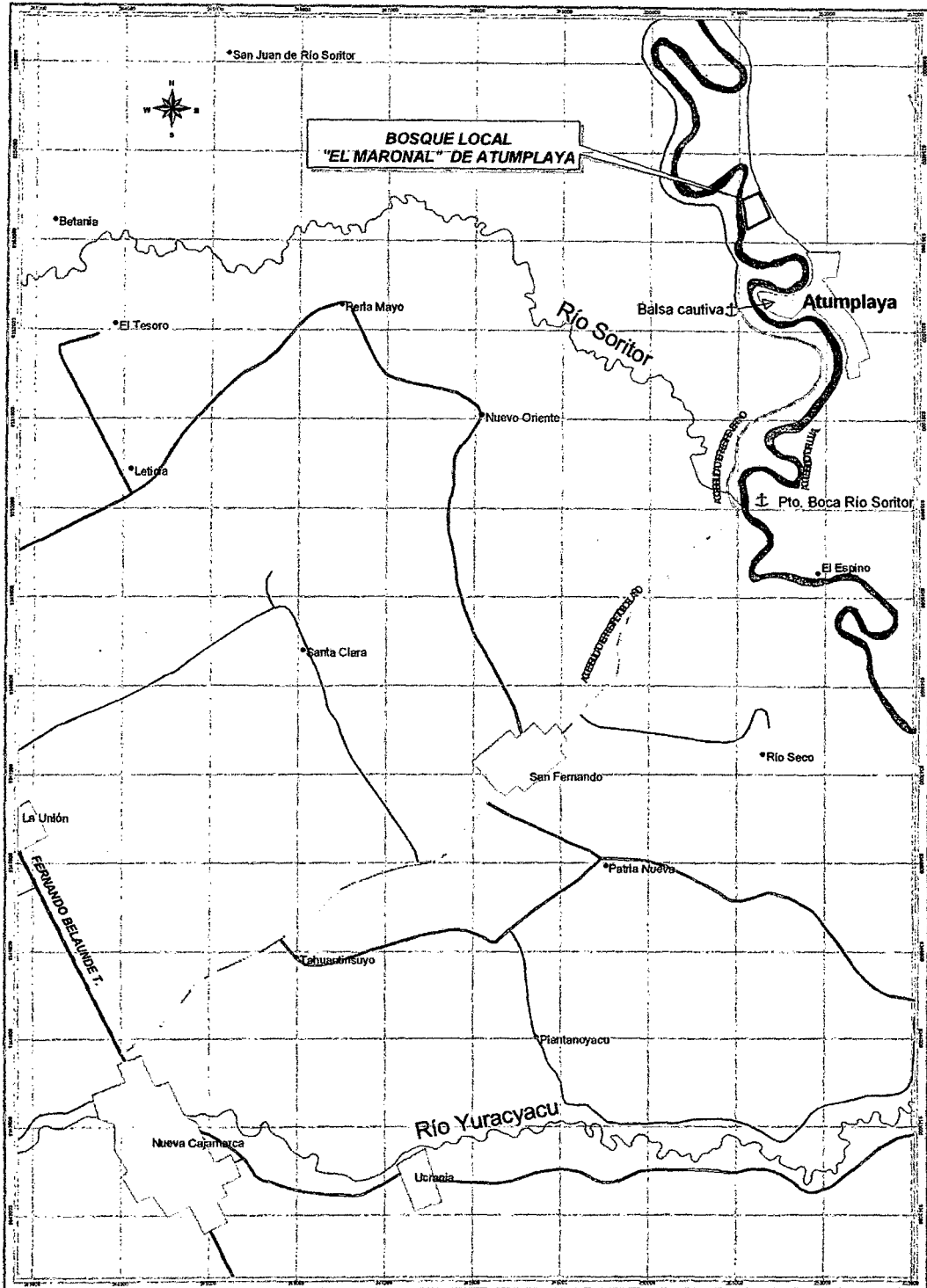
- LARREA A., Giuliana Cecilia. 2007. “Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de Combinaciones Agroforestales de *Theobroma cocoa* L.”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú.
- MALLEUX O., Jorge. 1982. “Inventarios Forestales en Bosques Tropicales”. Universidad Nacional de la Selva. Tingo María - Perú.
- MÁRQUEZ, Lilian. 2000. “Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono en Uso del Suelo”. Fundación Solar. Guatemala.
- MARQUINA P., Rubén P. 2003. “Estudio de Validación de los Suelos del Valle del Alto Mayo”. Proyecto Especial Alto mayo. Moyobamba - Perú.
- MARTÍNEZ C., Héctor J. 2005. “La cadena de la Guadua en Colombia - UNA MIRADA GLOBAL DE SU ESTRUCTURA Y DINÁMICA 1991-2005”. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogotá - Colombia.
- MONTIEL L., Mayra. 1998. “Cultivo y Uso del Bambú en el Neotrópico”. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Volumen 46. Costa Rica.
- ORDÓÑEZ D., José Antonio Benjamín. 2001. “Captura de Carbono ante el Cambio Climático”. Instituto de Ecología A.C. Xalapa - México.
- ORDÓÑEZ D., José Antonio Benjamín. 1999. “Captura de Carbono en un Bosque Templado: el caso de san Juan nuevo, Michoacán”. Instituto de Ecología-SEMARNAP. Primera Edición. México.
- PEAM/GTZ. 2003. “Mapa de Suelos Agrupados - Alto Mayo”. Proyecto Especial Alto Mayo. Moyobamba - Perú.
- ROJAS DE S., Nulvia. 2008. “La Guadua: Un Valioso Recurso Natural”. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Dirección Estatal Ambiental Barinas. IV Congreso Forestal Venezolano. Estado de Barinas - Venezuela.

- SÁNCHEZ R., Jorge. 1996. “Acumulación de Biomasa Aérea y Leña en Rodales Naturales del Pashaco *Parkia igneiflora* Ducke (Leguminosae) en la Región de San Martín - Perú”. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago - Chile.
- SCHLEGEL, Bastienne *et al.* 2000. “Manual de Procedimientos, Muestreo de Biomasa Forestal”. Universidad Austral de Chile. Valdivia - Chile.
- SCHLEGEL, Bastienne *et al.* 2001. “Manual de Procedimientos para Inventarios de carbono en Ecosistemas Forestales”. Universidad Austral de Chile. Valdivia - Chile.
- VELEZ, Simón. 2008. La *Guadua angustifolia* “El bambú Colombiano”. Actualidad y Futuro de la Arquitectura de Bambú en Colombia. Colombia.
- VERGARA, Fabián *et al.* 2009. “Gestión Comunitaria del Bosque Local: El Maronal de Atumplaya”. Proyecto Especial Alto Mayo. Primera Edición. Moyobamba - Perú.
- VILLEGAS, Marcelo. 2005. “Guadua. Arquitectura y Diseño”. Villegas editores. Primera Edición. Colombia.

ANEXOS

Anexo 01

Mapa de Ubicación del Bosque Local el Maronal de Atumplaya





SIGNOS CONVENCIONALES

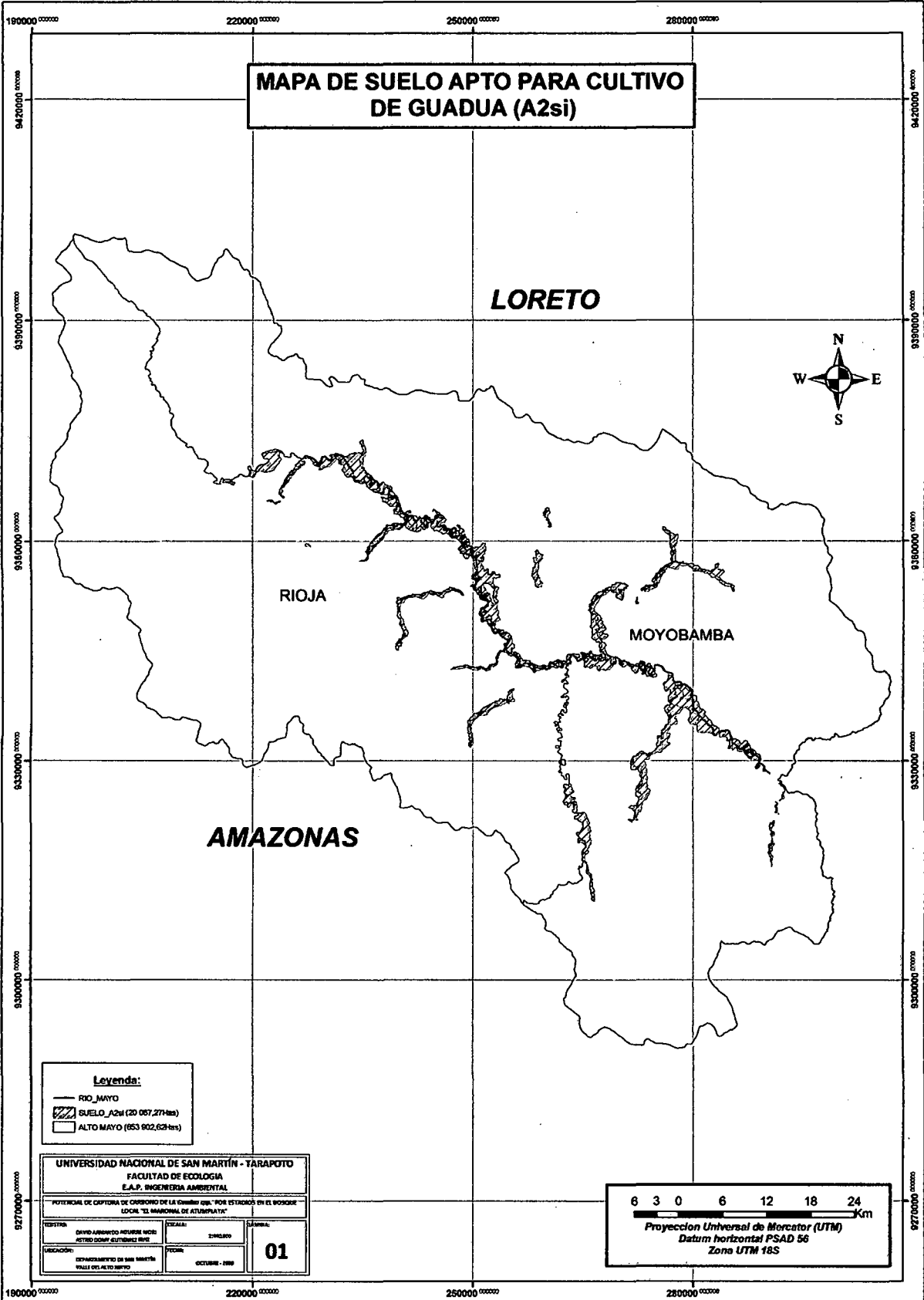
- ◻ AREAS URBANAS
- CENTROS POBLADOS
- ▬ RIO PRINCIPAL
- ▬ RIO SECUNDARIO
- ▬ QUEBRADAS
- ▬ CAMINO AFIRMADA
- ▬ CAMINO SIN AFIRMAR
- ▬ CAMINO DE HERRADURA
- ▬ TROCHA CARROZABLE
- ▬ AREA PROTEGIDA

1000 0 1000 Metros
ESCALA GRAFICA

CUADRICULA..... 1000 m. UTM/ZONA 18
 PROYECCION..... TRANSVERSAL MERCATOR
 DATUM HORIZONTAL..... WGS84
 DATUM VERTICAL..... NIVEL MEDIO DEL MAR


 REPUBLICA DEL PERU 
PROYECTO ESPECIAL ALTO MAYO
 COOPERACION ALEMANA AL DESARROLLO
MAPA DE UBICACION Y ACCESIBILIDAD
BOSQUE LOCAL "EL MARONAL" DE
ATUMPLAYA-MOYOBAMBA
 ESCALA: 1/35000
 FUENTE: Mapa Base; Cartas nacionales-Instituto Geográfico Nacional (IGN)
 Escala: 1/100000
 ELABORADO POR: Arca SIG - PEAM/GTZ

MAPA DE SUELO APTO PARA CULTIVO DE GUADUA (A2si)



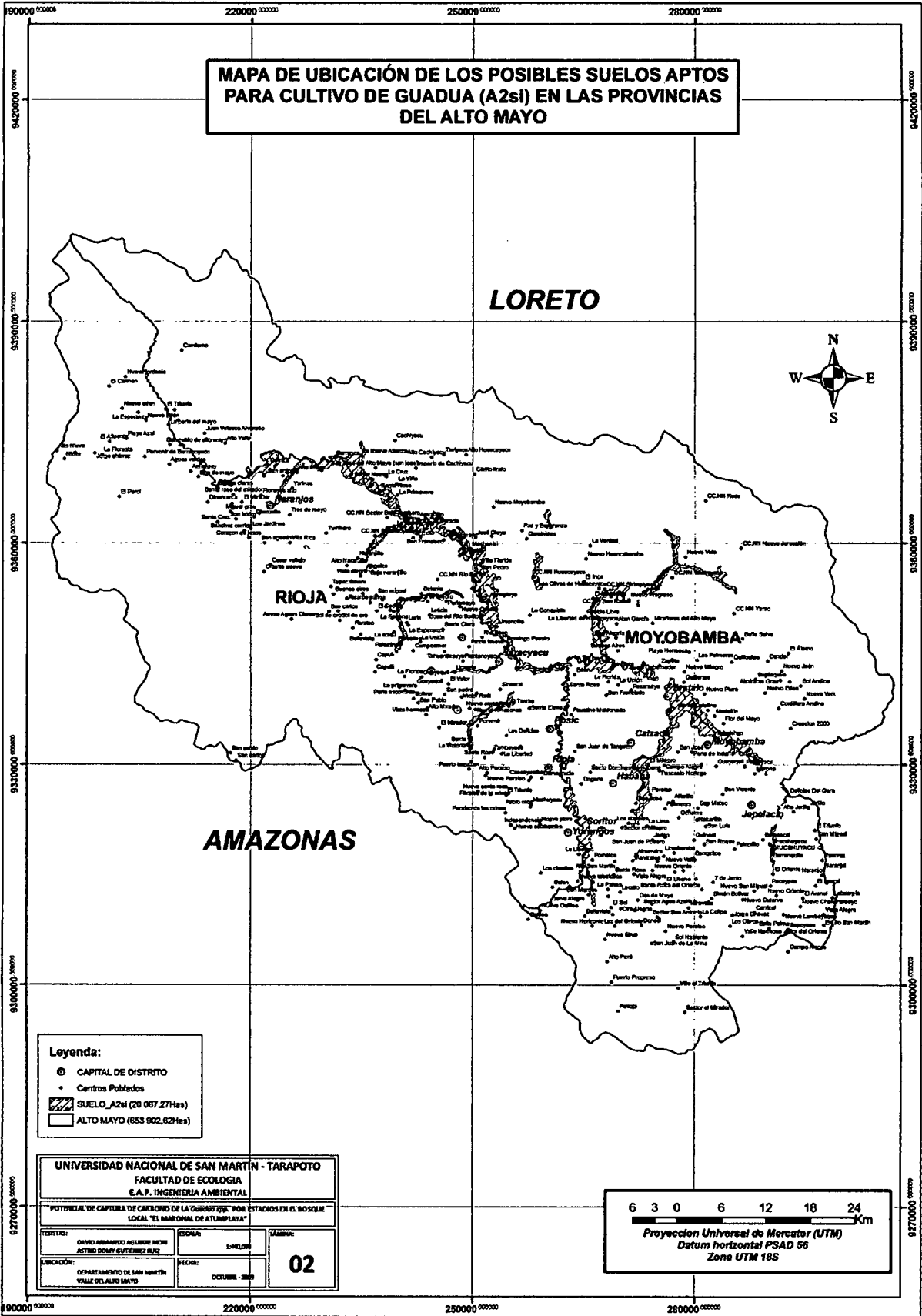
Leyenda:

	RIO MAYO
	SUELO A2si (20 057,271has)
	ALTO MAYO (653 902,629has)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO		
FACULTAD DE ECOLOGÍA		
E.A.P. INGENIERÍA AMBIENTAL		
POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO DE LA <i>Guzmania</i> spp. POR ESTADOS EN EL BOSQUE LOCAL "EL MARONAL DE ATUPLATA"		
AUTOR: DAVID ARANCO AGUIRRE MORA ASISTENTE: DORIS AGUIRRE BUSTO	FECHA: 2008/08/01	ESCALA: 1:50000
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN VALLE DEL ALTO MAYO	FECHA: OCTUBRE - 2008	01



MAPA DE UBICACIÓN DE LOS POSIBLES SUELOS APTOS PARA CULTIVO DE GUADUA (A2si) EN LAS PROVINCIAS DEL ALTO MAYO



Legenda:

- ⊙ CAPITAL DE DISTRITO
- Centros Poblados
- ▨ SUELO_A2si (20 087,27Hes)
- ALTO MAYO (653 902,62Hes)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGIA
E.A.P. INGENIERIA AMBIENTAL

POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO DE LA CUBIERTA VEGETAL POR ESTADOS EN EL BOSQUE LOCAL "EL MARSHAL DE ATUMPLANTA"

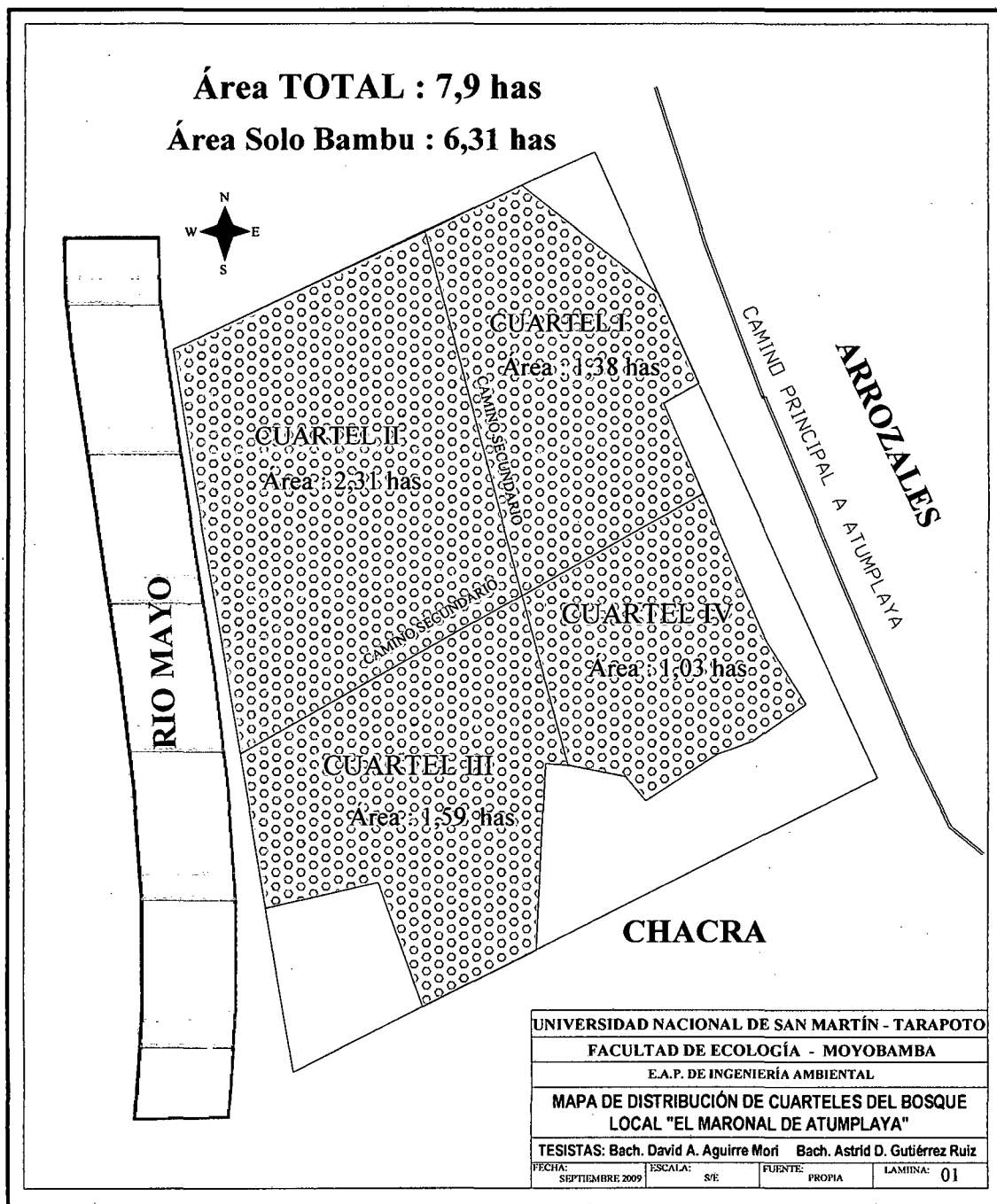
TERRIT: OVIDO ARMAVICIO ACILLUERE MORA ASTRID DOMY GUTIERREZ ALICE	ESCALA: 1:50000	LÁMINA: 02
DIRECCIÓN: DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN VALLE DEL ALTO MAYO	FECHA: OCTUBRE - 2009	

6 3 0 6 12 18 24 Km

Proyeccion Universal de Mercator (UTM)
 Datum horizontal PSAD 56
 Zona UTM 18S

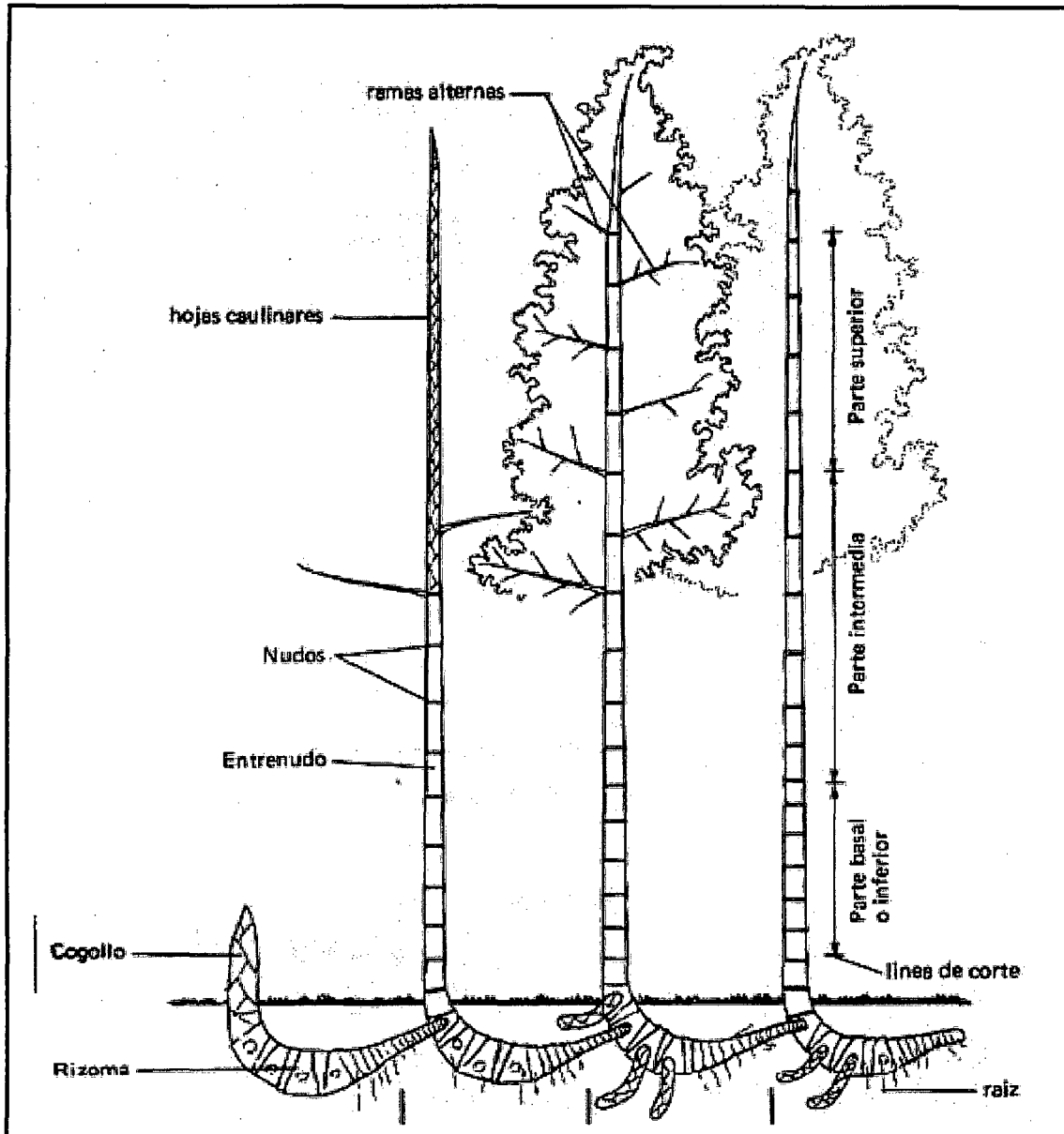
Anexo 02

Mapa de Distribución de los cuarteles en el Bosque Local el Maronal de Atumplaya



Anexo 04

Conformación de un culmo de Guadua



Fuente: Velez, 2008.

Anexo 05

Fotos del crecimiento de los brotes de la marona.



Anexo 06

