

ESTIMACIÓN DE NECROMASA Y CARBONO POSTERIOR AL SISTEMA DE  
ROZA, TUMBA Y QUEMA EN BARBECHOS DE DIFERENTES EDADES EN  
FINCAS DE ALTO BENI, BOLIVIA

HAROLD ANDRES GAMBOA MORILLO  
STEPHANY CAROLINA OROZCO CORTÉS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
INGENIERÍA AGROFORESTAL  
PASTO - COLOMBIA  
2006

ESTIMACIÓN DE NECROMASA Y CARBONO POSTERIOR AL SISTEMA DE  
ROZA, TUMBA Y QUEMA EN BARBECHOS DE DIFERENTES EDADES EN  
FINCAS DE ALTO BENI, BOLIVIA

HAROLD ANDRES GAMBOA MORILLO  
STHEPHANY CAROLINA OROZCO CORTÉS

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de  
INGENIERO AGROFORESTAL

Presidente de tesis  
EDUARDO SOMARRIBA Ph.D.

Copresidente de tesis  
LUZ AMALIA FORERO PEÑA M. Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
INGENIERÍA AGROFORESTAL  
PASTO - COLOMBIA  
2006

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Marzo de 2006

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo 1º. Del acuerdo No. 324 del 11 de octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

## *DEDICATORIA:*

*Un sueño que se convierte en realidad... tal vez no el primero o segundo...ni tampoco el último de los muchos que me he propuesto realizar en la vida...Hoy he escalado el primer peldaño que me llevará en asenso al éxito de mi desempeño profesional; todo esto ha sido y será alcanzado bajo la gracia de Dios nuestro señor, quien ha guiado cada instante en mi vida y ha llenado de bendiciones mi camino.*

*Mi recompensa: el amor, la felicidad, gratitud y apoyo incondicional brindado por mis padres, Jaime y Amparo a quienes les debo la vida y lo que he alcanzado en ella; a mis hermanos Mauricio y Diego su gratitud, comprensión y cariño; a Paola su amor y compañía. A ellos, dedico este triunfo fruto del esfuerzo y trabajo...*

*HAROLD.*

## DEDICATORIA

*Le doy gracias a Dios por tener unos padres tan maravillosos que me dieron la oportunidad de estudiar, de salir adelante, de tener una profesión....esto se lo debo a ustedes porque confiaron en mí y me brindaron su apoyo y amistad en todo momento... los amo con todo mi corazón ...este triunfo es para ustedes.*

*A mis hermanitos Alexander y Nathalia gracias por ser mis amigos y por darme su confianza y apoyo incondicional.*

*A mi pa'ula que es lo más bello y alegre mi vida con su presencia.*

CAROLINA

## AGRADECIMIENTOS A:

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE).

Eduardo Somarriba Ph.D Líder del Proyecto de Investigación Caracterización y posibilidades de mejoramiento del Sistema de Chaqueo y Producción de Arroz y Maíz con bajo Impacto Ambiental en Alto Beni, Bolivia. Por su confianza, su valiosa orientación y su contribución al desarrollo de la investigación.

Luz Amalia Forero Peña I.F. M.Sc. docente vinculada a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, por su apoyo y dedicación.

A los jurados por su valiosa colaboración:

Diego Muñoz Guerrero M. Sc.

Jorge Garzon M. Sc

Mauricio Oliveros I. Agrof.

Luisa Trujillo M.Sc. Coordinadora del Proyecto Modernización de la Cacaocultura Orgánica del Alto Beni Bolivia, por apoyarnos durante nuestro trabajo.

Al equipo técnico y personal del Proyecto Modernización de la Cacaocultura Orgánica del Alto Beni Bolivia por su apoyo, colaboración y amistad.

La Facultad de Ciencias Agrícolas, al Programa de Ingeniería Agroforestal y al personal docente y administrativo.

A las familias de la región de Alto Beni, Bolivia quienes participaron en esta investigación e hicieron posible la realización de este trabajo en sus fincas.

Todas las personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización y culminación de este trabajo.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	22
1. MARCO TEORICO	24
1.1 SISTEMAS AGROFORESTALES	24
1.2 CLASIFICACION DE SISTEMAS AGROFORESTALES	25
1.2.1 Sistemas agroforestales simultáneos	25
1.2.1.1 Huertos caseros mixtos	26
1.2.1.2 Sistemas agrosilvopastoriles	26
1.2.2 Sistemas agroforestales secuenciales	26
1.2.2.1 Sistema taungya	26
1.2.2.2 Agricultura migratoria	27
1.3 ANTECEDENTES DE LA AGRICULTURA MIGRATORIA	28
1.4 PROCESO DEL SISTEMA DE ROZA, TUMBA Y QUEMA	30
1.4.1 La roza	31
1.4.2 La tumba	31
1.4.3 Secado	31
1.4.4 Quema	31
1.4.5 Chalqueo	32
1.5 BIOMASA	32
1.6 QUEMA DE BIOMASA	33

1.7	IMPORTANCIA DE LA QUEMA	35
1.8	IMPACTOS DE LA QUEMA	37
1.9	EFEECTO INVERNADERO	38
1.10	CAPTURA DE CARBONO	39
1.10.1	Carbono almacenado	40
1.10.2	Carbono fijado	40
1.11	PROTOCOLO DE KIOTO	41
1.11.1	Los bosques como sumideros de carbono	42
1.12	MEDICIÓN DE BIOMASA	44
1.12.1	Protocolo para medición de necromasa	45
1.12.2	Modelos de biomasa	46
1.13	ESTIMACION DE LA FIJACIÓN DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES	46
1.14	ESTUDIOS DE CASO	47
1.14.1	Biomasa de la Vegetación Herbácea y Leñosa Pequeña y Necromasa en Bosques Tropicales Primarios y Secundarios en Colombia	47
1.14.2	Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios intervenidos y secundarios	48
2.	METODOLOGIA	50
2.1	LOCALIZACION	50
2.2	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL	51
2.3	FASE DE CARACTERIZACIÓN DE FINCAS	52

2.4 FASE DE ESTUDIO DE LA NECROMASA	54
2.4.1 Parcelas de muestreo	54
2.4.2 Medición de la necromasa	57
2.4.3 Materia seca	57
2.5 CARBONO ACUMULADO EN LA NECROMASA	58
2.6 MODELOS DE NECROMASA	58
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ROZA, TUMBA Y QUEMA	59
3.1.1 Agricultura migratoria y uso de la tierra en fincas de Alto Beni	59
3.1.2 Proceso del sistema de roza, tumba y quema	62
3.1.2.1 Roza y tumba	62
3.1.2.2 Secado	63
3.1.2.3 Quema	63
3.1.2.4 Chalqueo	63
3.1.2.5 Siembra	63
3.1.3 Características de los barbechos	63
3.1.4 Agronomía y manejo de los cultivos de Arroz <i>Oryza sativa</i> y Maíz <i>Zea maíz</i>	65
3.1.5 Rendimientos	67
3.2 ACUMULACIÓN DE NECROMASA EN BARBECHOS ANTES DE LA QUEMA	68
3.2.1 Carbono acumulado en barbechos antes de la quema	70
3.3 ACUMULACIÓN DE NECROMASA EN BARBECHOS DESPUÉS	73

DE LA QUEMA	
3.3.1 Carbono acumulado en barbechos después de la quema	74
3.4 MODELOS DE NECROMASA	76
3.4.1 Necromasa en barbechos antes de la quema	76
3.4.2 Necromasa en barbechos después de la quema	77
3.4.2.1 Necromasa entre 1 y 5 cm de diámetro	77
3.4.2.2 Necromasa en barbechos mayor a 5 cm de diámetro	79
3.4.2.3 Necromasa total en barbechos después de la quema	81
4. CONCLUSIONES	83
5. RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFIA	86
ANEXOS	94

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipos de biomasa quemada.	34
Tabla 2. Depósitos superficiales de carbono en los bosques tropicales.	43
Tabla 3. Productores que practican el sistema de roza, tumba y quema en Alto Beni.	53
Tabla 4. Calendario agronómico de los cultivos de Arroz y Maíz para la zona de Alto Beni. Porcentajes de productores que realizan la actividad por mes.	66
Tabla 5. Rendimientos de arroz en bruto y de maíz en Kg ha <sup>-1</sup> .	68
Tabla 6. Necromasa promedia total acumulada en barbechos antes de la quema en la zona de Alto Beni.	70
Tabla 7. Contenido de carbono y carbono acumulado por edad en barbechos antes de la quema en la zona de Alto Beni.	71
Tabla 8. Contenido de carbono y carbono acumulado por categorías.	74
Tabla 9. Comparación entre modelos para necromasa total en barbechos antes de la quema.	76
Tabla 10. Comparación entre modelos para necromasa entre 1 y 5 cm de diámetro.	78
Tabla 11. Comparación entre modelos para necromasa mayor a 5 cm de diámetro.	79
Tabla 12. Comparación entre modelos para necromasa total en barbechos después de la quema.	81

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del área de estudio.	51
Figura 2. Establecimiento de la parcela de muestreo en un barbecho de 9 años.	55
Figura 3. Trazado de la parcela.	55
Figura 4. Diseño parcela de muestreo.	56
Figura 5. Numeración de cuadrantes.	56
Figura 6. Porcentaje de productores que practican el sistema de roza, tumba y quema por áreas de colonización en Alto Beni.	60
Figura 7. Diferentes usos de la tierra y porcentaje de ocupación en la zona de Alto Beni.	61
Figura 8. Porcentaje de superficies cultivadas con arroz y maíz en las fincas.	62
Figura 9. Edades de barbecho.	64
Figura 10. Uso futuro de barbechos y parcelas de arroz y maíz.	65
Figura 11. Gráfica de necromasa total promedia en barbechos antes de la quema en la zona de Alto Beni.	69
Figura 12. Gráfica de carbono total acumulado en la necromasa en barbechos antes de la quema en la zona de Alto Beni.	72
Figura 13. Gráfica de necromasa total promedia por categorías en barbechos después de la quema en la zona de Alto Beni.	73
Figura 14. Gráfica de carbono total acumulado en la necromasa en barbechos después de la quema en la zona de Alto Beni.	75
Figura 15. Gráfica de dispersión para necromasa vs edad en barbechos	77

antes de la quema.

Figura 16. Gráfica de dispersión para necromasa vs edad entre 1 y 5 cm de diámetro en barbechos después de la quema. 78

Figura 17. Gráfica del modelo alométrico linealizado de la forma  $\ln y = 1.0536 + 1.19054 * \ln \text{edad}$ , ajustado por regresión para la relación necromasa mayor a 5 cm vs edad. 80

Figura 18. Gráfica del modelo alométrico linealizado de la forma  $\ln y = 1.22423 + 1.13436 * \ln \text{edad}$ , ajustado por regresión para la relación necromasa total vs edad. 82

## GLOSARIO

**SISTEMA DE CHAQUEO:** se refiere a la práctica de roza, tumba y quema de la vegetación.

**BARBECHOS:** vegetación secundaria que se desarrolla de forma natural mediante la sucesión secundaria en tierras abandonadas después de la agricultura de corte y quema, del cultivo migratorio, los pastizales o después del fracaso de las plantaciones de árboles.

**NECROMASA:** masa vegetal muerta compuesta por pedazos de madera, leños, troncos, ramas o árboles muertos en pie o caídos con diámetros  $\geq 1$  cm.

**CHALQUEO:** actividad que se realiza después de la quema, cuando la vegetación no ha sido consumida totalmente por el fuego. Se recogen y amontonan los residuos para posteriormente ser quemados nuevamente.

**AREAS DE COLONIZACION:** la región de Alto Beni en la Municipalidad de Palos Blancos se divide en seis áreas de acuerdo al proceso de colonización (área I, II, III, V, VI, VII) y la Municipalidad de Caranavi incluye el área IV.

**CALENTAMIENTO GLOBAL:** aumento de la temperatura de la Tierra debido al uso de combustibles fósiles y a otros procesos industriales que llevan a una acumulación de gases invernadero (dióxido de Carbono, metano, óxido nitroso y clorofluoroCarbonos) en la atmósfera.

**CARBONO:** de símbolo C, es un elemento crucial para la existencia de los organismos vivos, y que tiene muchas aplicaciones industriales importantes. Su número atómico es 6; y pertenece al grupo 14 del sistema periódico.

**COEFICIENTE DE CORRELACION:** en estadística, es la relación entre las dos variables de una distribución. Cuando  $|p|$  es próximo a 1, la correlación es fuerte, lo que significa que las variaciones de una de las variables repercuten fuertemente en la otra. Mientras que si  $|p|$  es próximo a 0, la correlación es muy débil y las variables están muy poco relacionadas.

**HETEROSEDASTICIDAD:** determina que exista una distribución aleatoria de los datos estadísticos presentes en una grafica.

**R – CUADRADO:** indica el porcentaje de la variabilidad de variable dependiente del modelo estadístico.

**SERVICIO AMBIENTAL:** se consideran todos los beneficios que prestan los árboles para mejorar el medio ambiente y a la vez generar ingresos económicos.

**VALOR DE LA PROBABILIDAD:** la probabilidad de un resultado se representa con un número entre 0 y 1, ambos inclusive. La probabilidad 0 indica que el resultado no ocurrirá nunca, y la probabilidad 1, que el resultado ocurrirá siempre.

**VARIABLE ESTADÍSTICA:** pueden contener datos numéricos (variables cuantitativas) y datos categóricos no cuantificables numéricamente (variables cualitativas).

**VARIANZA:** determina la variabilidad que existe entre los datos que se relacionan.

## RESUMEN

Este trabajo se realizó en los bosques secundarios de Alto Beni, Bolivia en las provincias Sud Yungas y Caranavi del Departamento de La Paz; esta región hace parte de los valles sub-andinos, en el sector conocido como la faja de los Yungas. Se realizó la caracterización del sistema de roza, tumba y quema determinando el porcentaje de familias del Alto Beni que practican este sistema, mediante una entrevista a 1500 productores registrados en la base de datos del Proyecto Modernización de la Cacaocultura Orgánica del Alto Beni. Se entrevistaron e inspeccionaron las fincas y barbechos de 114 productores de modo que se incluyeran igual número por área de colonización y considerando que hubiesen residido por más de 10 años en su predio. De cada finca se colectó información sobre el uso del suelo (tamaño y distribución de los campos de cultivo, barbecho, etc. de la finca), manejo, agronomía y costos de los cultivos de arroz y maíz.

Se cuantificó la cantidad de necromasa existente en barbechos de diferentes edades, antes y después de la quema de la vegetación y la cantidad de carbono acumulado en este compartimiento. Se establecieron 46 parcelas de 500 m<sup>2</sup> (20 m x 25 m) en barbechos en estado natural (1-12 años, cuatro por edad, con excepción de los barbechos de 11 y 12 años, de los cuales solo se evaluaron tres de cada uno) y 24 parcelas (1-12 años, cuatro por edad) en barbechos donde se realizó la roza, tumba y quema de la vegetación.

En barbechos antes de la quema se encontró una acumulación de necromasa total promedio de 9.18 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, con un valor máximo de 21.5 ton ha<sup>-1</sup> a la edad de 12 años y una mínima acumulación de 4 ton ha<sup>-1</sup> a los 7 años de edad mientras que en barbechos después de la quema hay mayor acumulación promedio por año 32.24 ton ha<sup>-1</sup>, con un valor máximo a los 10 años de edad (86.16 ton ha<sup>-1</sup>) y un valor mínimo de 4.23 ton ha<sup>-1</sup> a un año de edad. Se observa como tendencia general, que la necromasa aumenta exponencialmente a medida que avanza el estado sucesional de los barbechos.

Se observó una mayor tasa de acumulación de carbono total promedio por año en la necromasa en barbechos después de la quema con 15.44 ton ha<sup>-1</sup> y en barbechos antes de la quema la acumulación de carbono total promedio es menor 4.5 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, debido a que la necromasa presenta un mayor grado de descomposición.

Con la información generada mediante análisis de regresión utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS Plus 5.0, se encontró que el mejor modelo para explicar el comportamiento de la necromasa y por ende de carbono en barbechos después de la quema, con la edad como variable predictora, fue el modelo de tipo exponencial linealizado de la forma  $\ln \text{Necromasa} = 1.22423 + 1.13436 * \ln(\text{edad})$ , en el cual la variable dependiente ( $y$ ) es la necromasa y la variable independiente ( $x$ ) es la edad. La relación entre la acumulación de necromasa y la edad del modelo ajustado fue significativa ( $p < 0.01$ ), con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que explica hasta un 76.5% de la variabilidad de los datos. Los valores para el coeficiente de correlación (0.87) y del cuadrado medio del error (0.37), demostraron bajos errores de estimación respecto a otros modelos ajustados.

*Palabras claves: sistemas agroforestales, modelos alométricos, agricultura migratoria, barbechos, carbono acumulado.*

## ABSTRACT

This work was done at secondary forest of Alto Beni, from Bolivia, in a sector called la Faja de los Yungas (Sud Yungas and Caravani, from la Paz state); this region is part of the subandean valleys. A characterization from roza (cutting), tumba (knocking down) and quema (burning) methods was carried out, determining the different percentages of families from Alto Beni that use these methods, by interviewing one thousand five hundred (1500) farmers included in the database from the Proyecto of Modernización of the Cacaocultura del Alto Beni (Modernization project of the organic cocoa culture from Alto Beni). One hundred fourteen farmers were interviewed and their farms and fallows were observed. Farmers selected had to live more than ten years in their properties and they were included in a same number for colonization area. Information about use of the soil, dimension, culture countries distribution, agronomy, costs and management of the rice and maize crops was gathered from each farm and fallow.

Quantification of the existent necromass in fallows of different ages was done before and after vegetation burning and the carbon quantity too. Forty six (46) five hundred square meters (20 meters. X 25 meters) plots with fallows in natural conditions (1 to 12 years old, 4 for each age and only 3 of 11- 12 years old) and twenty four plots (1-12 years old, one for each age) with fallows in which roza, tumba and quema was carried out were assessed.

In fallows, before it burns, it was found a total necromass accumulation average per year of  $9.18 \text{ ton ha}^{-1}$ , with a maximum value of  $21.5 \text{ ton ha}^{-1}$  at the age of 12 years and a minimum accumulation of  $4 \text{ ton ha}^{-1}$  to the 7 years old while in the fallows after burning it presented bigger accumulation average per year  $32.24 \text{ ton ha}^{-1}$ , with a maximum value to the 10 years old ( $86.16 \text{ ton ha}^{-1}$ ) and a minimum value of  $4.23 \text{ ton ha}^{-1}$  to a 1 year old. It is observed as general tendency that the necromass increases exponentially as the state sucesional of the fallows advances.

It was observed a bigger percentage of accumulation the total carbon average per year in the necromass in the fallow after the burning with  $15.44 \text{ ton ha}^{-1}$  and in the fallow before the burning the accumulation of total carbon average is less  $4.5 \text{ ton ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , because the necromass presented a bigger grade of descompositión.

With the information given into the regression analysis using the statistical program STATGRAPHICS Plus 5.0, it was found that the best model to explain the function of the necromass and the same way of the carbon into the fallow after the burning, with the age as a predictor variable was the lineal exponential model  $\ln \text{ necromass} = 1.22423 + 1.13436 * \ln (\text{age})$ , in which the dependent variable ( $y$ ) is the necromass and the independent ( $x$ ) one is age. The relation between the necromass accumulation and the age of the adjusted model was significant with a determination coefficient ( $R^2$ ) that explains until 76.5% the variability of the data. The values for the correlation coefficient (0.87) and the mean absolute error (0.37), demonstrated low estimate errors regardin another adjust models.

*Key words: agroforestry systems, alometrical models, shifting cultivation, fallows, slash and burn, carbon accumulation.*

## INTRODUCCIÓN

El fuego ha sido utilizado desde años atrás por diferentes comunidades humanas como una herramienta para generar cambios en el uso de la tierra. Mediante la quema de biomasa vegetal se eliminan bosques para la apertura de nuevas tierras para uso agrícola y ganadero. En la mayor parte de las zonas tropicales, a nivel mundial la primera forma de agricultura practicada por los pobladores de esos sitios fue y continúa siendo la agricultura migratoria<sup>1</sup>.

Esta se caracteriza por la rotación secuencial de vegetación leñosa y siembra de cultivos de autoconsumo en la cual el bosque pasa por diferentes fases de corte, quema y cultivo para finalmente entrar en período de recuperación<sup>2</sup>. Este antiguo sistema agrícola sigue siendo un factor importante e innegable en la transformación de los bosques ocasionando que se la considere una de las principales actividades causantes de la deforestación en los trópicos<sup>3</sup>.

En la región de Alto Beni el 50% de la superficie total de las fincas se dedica a la producción de arroz y maíz para el consumo familiar y venta. La producción de granos se basa en una agricultura de tumba-quema con un ciclo de descanso y un solo año agrícola. La quema cíclica de la vegetación provoca cambios irreversibles en la composición botánica de la regeneración natural en las fincas, resulta en cuantiosas pérdidas de suelo por erosión y volatilización de nutrientes y provoca la emisión de gases con efecto invernadero.

Es necesario reconocer que la quema de bosques en Bolivia implica aspectos profundamente negativos, puesto que con la degradación de los recursos

---

<sup>1</sup> WARNER, Katherine. La agricultura migratoria: conocimientos técnicos locales y manejo de los recursos naturales en el trópico húmedo. [en línea]. Roma (Italia): FAO, 1994. [citado en 2005-05-25]. Disponible en Internet: [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=//docrep/006/ad435s00.html](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=//docrep/006/ad435s00.html).

<sup>2</sup> FUJISAKA, Sam. y ESOBAR, Germán. En camino a una clasificación práctica de los sistemas agrícolas de corte y quema. [en línea]. (Londres). Red Forestal para el Desarrollo Rural, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1997. [citado en 2005-07-12]. Disponible en Internet: <http://www.odifpeg.org.uk/espanol/publications/rdfn/html>.

<sup>3</sup> WARNER, Op. cit.

naturales se disminuyen las áreas boscosas y por tanto provocan además la extinción de valiosas especies de animales y plantas.

Finalmente, es fácil advertir que año tras año, se presentan notorias humaredas con características que impactan negativamente en la salud de los pobladores que habitan el campo e inclusive las ciudades, y pobladores quienes aparentemente nos son afectados por las quemadas rurales pero que sufren los efectos de los gases tóxicos que emanan de los bosques destruidos.

El presente trabajo contribuirá en la realización de la línea base del proyecto Características y Posibilidades de Mejoramiento del Sistema de Chaqueo para la Producción de Arroz y Maíz con Bajo Impacto Ambiental en Alto Beni, Bolivia, que pretende generar información sobre las actuales tasas de acumulación de biomasa aérea así como el aporte de la necromasa y carbono en diferentes edades de bosques intervenidos, con miras a formular un proyecto macro sobre alternativas de producción a este tipo de agricultura migratoria y el pago por servicios ambientales, generando estrategias que permitan combinar la producción agrícola con la venta de estos servicios en el ámbito nacional y global.

La presente investigación se realizó con el objetivo de estimar la cantidad de necromasa y carbono posterior al sistema de roza tumba y quema en barbechos de diferentes edades, teniendo en cuenta las prácticas culturales realizadas en la zona, desarrollando los siguientes objetivos específicos: caracterizar el sistema de roza tumba y quema de la zona, medir la cantidad de necromasa y carbono antes y después de la quema de la vegetación y su acumulación en diferentes edades de barbecho y encontrar los modelos de predicción que mejor se ajusten para estimar la cantidad de necromasa a través del tiempo.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 SISTEMAS AGROFORESTALES

Uno de los principales problemas que existen en la actualidad, asociado al desarrollo rural, es la escasez de alimentos para poder suplir la demanda mundial creciente, debido al crecimiento demográfico en vastos territorios del mundo. Esta presión por la obtención de alimentos se ha visto agravada por una pobre distribución de fuentes de alimentos, procesos de desertificación acelerados por la pérdida de cubiertas arbóreas protectoras, erosión y pérdida de suelos por usos de sistemas productivos agrícolas inadecuados a la condición del suelo y disminución de la superficie boscosa por quemas, sobrepastoreo y pérdida de suelos fértiles por expansión de las ciudades, construcción de caminos y otros tipos de urbanización<sup>4</sup>.

Históricamente los usuarios de la tierra llámense campesinos o pequeños productores han percibido una incompatibilidad entre el componente forestal, árbol o bosque y el uso agropecuario. Para ellos los árboles han representado un competidor, creyendo que las especies forestales reducirán o reemplazarán los cultivos agrícolas. Cambiar esa percepción puede ser un proceso lento y difícil, ya que el uso tradicional de la tierra y el manejo de los recursos naturales a menudo están fielmente establecidos y socialmente aceptados en las comunidades locales, lo cual requerirá un largo proceso de educación y convencimiento con métodos demostrativos y trabajo participativo de las comunidades<sup>5</sup>.

Los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de los recursos naturales en las cuales especies leñosas son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> TORQUEBIAU, Emmanuel. Conceptos de Agroforestería: una introducción. En: KRISHNAMURTHY, L. Agroforestería para el Ecodesarrollo. México: Universidad Autónoma Chapingo. ICRAF, 1990. p. 28.

<sup>5</sup> Ibid., p. 22.

<sup>6</sup> MONTAGNINI, Florencia *et al.* Sistemas Agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2ª. Edición, San José de Costa Rica, 1992. p. 17.

Los sistemas agroforestales se orientan a permitir actividades productivas en condiciones de alta fragilidad, con recursos naturales degradados, mediante una gestión económica eficiente, alterando al mínimo la estabilidad ecológica, lo cual contribuye a alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción y, como consecuencia, mejorar el nivel de vida de la población rural. La característica principal de estos sistemas es su capacidad de optimizar la producción de territorio a través de una explotación diversificada, en la que los árboles cumplen un rol fundamental<sup>7</sup>.

Este rol se ve reflejado en que los árboles pueden proveer muchos productos tales como madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, medicina, aceites y resinas entre otras. Por otra parte, los árboles son proveedores importantes de servicios como seguridad alimenticia, conservación de suelos, aumento de la fertilidad del suelo, mejora del microclima, cercos vivos para los cultivos y árboles frutales, demarcación de límites, captura de carbono, control de maleza, entre otros.<sup>8</sup>

## 1.2 CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES

Los sistemas agroforestales han sido clasificados de diferentes maneras: según la estructura, el diseño a través del tiempo, la importancia relativa y la función de los diferentes componentes, los objetivos de la producción y las características sociales y económicas prevalentes<sup>9</sup>.

**1.2.1 Sistemas agroforestales simultáneos.** Son aquellos en los que los cultivos y árboles se turnan para ocupar el mismo sitio, hay una integración simultánea y continua de cultivos anuales y perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiple, y/o ganadería, en los cuales existe una alta competencia por luz, agua y nutrientes, la cual puede ser minimizada mediante un adecuado espaciamiento. Los sistemas más comunes que se pueden encontrar en unidades campesinas son: huertos caseros mixtos, setos vivos espaciales,

---

<sup>7</sup> MONTAGNINI, Op. cit., p. 19.

<sup>8</sup> JIMÉNEZ, Francisco *et al.* Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica. CATIE, 2001. p. 2.

<sup>9</sup> MONTAGNINI, Op. cit., p. 59.

sistemas agrosilvopastoriles, sistemas de protección en cultivos perennes, cortinas cortaviento<sup>10</sup>.

**1.2.1.1 Huertos caseros mixtos.** Estos sistemas se utilizan para cubrir las necesidades básicas de familias o de comunidades pequeñas; ocasionalmente se venden algunos excedentes de producción. Se caracterizan por su complejidad presentando múltiples estratos, contienen entre dos y cinco estratos de vegetación, se combinan plantas que integran la producción agrícola y forestal, incluida plantas medicinales, ornamentales y especies menores<sup>11</sup>.

**1.2.1.2 Sistemas agrosilvopastoriles.** Son asociaciones de árboles maderables o frutales con animales o cultivos, se practican diferentes niveles, desde las grandes plantaciones arbóreas comerciales con inclusión de ganado, hasta el pastoreo de animales como complemento a la agricultura de subsistencia. La economía de estos sistemas se caracteriza por la obtención de ingresos, tanto a corto como a largo plazo, a través de los productos animales y arbóreos<sup>12</sup>.

**1.2.2 Sistemas agroforestales secuenciales.** Su objetivo principal es la diversificación de la producción; en ellos existe una relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos arbóreos; es decir, que los cultivos anuales y las plantaciones de árboles se suceden en el tiempo. Esta categoría incluye formas de agricultura migratoria con intervención o manejo de barbechos, y los sistemas taungya, métodos de establecimiento de plantaciones forestales en las cuales los cultivos anuales se llevan a cabo simultáneamente con las plantaciones de árboles, pero solo temporalmente, hasta que el follaje de los árboles se encuentre desarrollado. En ellos se utilizan con frecuencia especies fijadoras de nitrógeno, como árboles para sombra<sup>13</sup>.

**1.2.2.1 Sistema taungya.** Su objetivo principal es la diversificación de la producción; también se puede lograr aumentos en la productividad a través de algunas interacciones con el componente arbóreo, como la interferencia entre cultivos y árboles (competencia y efectos alelopáticos), y la provisión de sombra de los árboles para los cultivos. La competencia por agua, luz, nutrientes y

---

<sup>10</sup> MONTAGNINI, Op. cit. p. 71.

<sup>11</sup> JIMÉNEZ, Op. cit., p. 5.

<sup>12</sup> MONTAGNINI, Op. cit. p. 82.

<sup>13</sup> Ibid., p. 59.

espacio, dependen de las especies involucradas, la densidad y el tipo de manejo<sup>14</sup>.

**1.2.2.2 Agricultura migratoria.** La agricultura migratoria y los sistemas de corte y quema han sido objeto de gran atención debido a su papel, ya sea comprobado o supuesto en la deforestación tropical, la pérdida de biodiversidad y el calentamiento global. Estos sistemas agrícolas son muy variados y diversos y están relacionados con distintas realidades sociales, económicas y ecológicas que han llevado a la confusión cuando se hacen comparaciones entre distintos lugares<sup>15</sup>. En general quienes afectan con mayor intensidad los ecosistemas naturales, son los colonos recientes, poco familiarizados con el ambiente amazónico y que desarrollan sus actividades productivas en condiciones de insuficiente oferta tecnológica racionalizada<sup>16</sup>.

Watters define a la agricultura migratoria como un conjunto de técnicas que utilizan aquellos agricultores que no disponen de tecnología y que no pueden invertir ningún capital en el trabajo agrícola, cuya finalidad fundamental es proporcionar alimento a ellos y a sus familias<sup>17</sup>. El cultivo migratorio es un sistema agrícola complejo que, en determinadas condiciones, está bien adaptado a las limitaciones ambientales del trópico, no es primitivo, ni es necesariamente destructivo, pero para que sea provechoso, exige un profundo conocimiento de las condiciones ambientales tropicales y una muy buena capacidad de gestión<sup>18</sup>.

Este tipo de agricultura, es un sistema agrícola tradicional ampliamente distribuido en las regiones tropicales; existe desde muchos siglos y sigue siendo la principal forma de uso del suelo en aproximadamente 30% de las tierras arables del mundo, bajo distintas condiciones ecológicas, estimándose en más de 300 millones las personas dependientes de esta técnica agrícola<sup>19</sup>.

---

<sup>14</sup> ARÉVALO, Luis. Definición y clasificación de sistemas agroforestales. ICRAF, s.l. 2002, p. 6.

<sup>15</sup> FUJISAKA, Op. cit., p.

<sup>16</sup> PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. Agricultura. En: Estudio de Casos de Manejo Ambiental: desarrollo Integrado de un Área en los Trópicos Húmedos – Selva Central del Perú. Perú : PNUMA, 1987. p.

<sup>17</sup> WATTERS, R. La agricultura migratoria en América Latina. Cuadernos de Fomento Forestal N° 17, FAO, Roma, 342 p.

<sup>18</sup> WARNER, Op. cit., p.

<sup>19</sup> Agricultura migratoria. [en línea]. [citado en 2005-06-20]. Disponible en Internet: <http://www.áreas-protegidas.org./talayquema.html>.

Las tierras sometidas a este sistema de explotación pasan por un proceso de corte y quema seguida por una fase breve de cultivo no mayor a 2 años; para finalmente ingresar en un tiempo variable de barbecho que permite la recuperación del suelo y de la vegetación<sup>20</sup>. El bosque es eliminado por medio de la quema, lo que afecta principalmente la parte de la biomasa que esta sobre la tierra y una pequeña parte del carbono en el suelo hasta 3 cm de profundidad; el terreno pierde muy rápido su productividad<sup>21</sup>.

### 1.3 ANTECEDENTES DE LA AGRICULTURA MIGRATORIA

Solo han pasado unos pocos milenios desde que los primeros pobladores llegaron como cazadores y pescadores a la Amazonía. Al principio recogían plantas comestibles silvestres y luego adaptaron practicas agrícolas, plantando solo lo necesario para satisfacer las necesidades del hogar. Mientras fueron pocos no influyeron significativamente en la estructura y dinámica de los bosques. Luego, los colonizadores europeos descubrieron que los cultivos eran prácticos solo durante dos años consecutivos, y si se volvía a plantar después de diez años de barbecho, solo era posible una cosecha más<sup>22</sup>.

Históricamente, la agricultura migratoria no se ha limitado al trópico. Desde el período neolítico, las comunidades agrícolas de todo el mundo la han utilizado para cultivar el monte. A medida que los primeros agricultores pasaban por Asia, Europa, África y América, iban desbrozando los bosques y creando campos de cultivo. El sistema de corte y quema se seguía empleando, hasta hace poco, en

---

<sup>20</sup> OKIGBO, B. Sistemas mejorados de producción como alternativa a la agricultura migratoria. Boletín de suelos (53): 1-128. 1986. Disponible en Internet: <http://www.semarnap.org.mx>

<sup>21</sup> ALEGRE, J. y ARÉVALO, L. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonía peruana. [en línea]. Yurimaguas (Perú). [citado en 2005-05-18]. ICRAF, 2000. Disponible en Internet: <http://www.fao/WAICENT/FAOINF/AG/AGAP/FRG/español/document/boterusso/18htm-25K.html>.

<sup>22</sup> El Sistema Agroforestal. [en línea]. [citado en 2005-10-12]. Disponible en Internet: [http://www.fs.usda.gov/research/publications/producci%F3n\\_forestal\\_para\\_am%E9rica\\_tropical/cap.8.pdf.html](http://www.fs.usda.gov/research/publications/producci%F3n_forestal_para_am%E9rica_tropical/cap.8.pdf.html).

los bosques de abeto falso en Europa del Norte. Se continúa empleando en el trópico debido a las limitaciones inherentes al medio ambiente de la región<sup>23</sup>.

La baja rentabilidad de las actividades agrícolas, la carencia de otras alternativas económicas, el bajo nivel de educación, los factores culturales arraigados en los campesinos, y la escasez de capital y de tecnología, hacen que el proceso de tumba y quema sea predominante en el Amazonas. El tamaño de las propiedades está también implícitamente asociado a la pérdida de estabilidad de las unidades productivas. A medida que los lotes se van fragmentando, hecho corriente en las comunidades y en los poblados más antiguos, las familias encuentran dificultades para mantenerse, en vista de la baja producción de sus plantaciones y del corto tiempo destinado al barbecho<sup>24</sup>.

Pese a que la agricultura de corte y quema integral ha sido en el pasado un agroecosistema sustentable, ésta no puede servir de modelo para el futuro de las zonas tropicales. A pesar que la regeneración del bosque es decisiva para que el agroecosistema de corte y quema sea sustentable a largo plazo, muchos grupos que practican esta agricultura ya no pueden dejar sus campos en barbecho durante el tiempo suficiente para que se produzca esa regeneración. Estos agricultores no han dejado de reconocer el vínculo entre el bosque, los suelos y la productividad, pero enfrentan una situación en la cual les resulta imposible seguir barbechando el bosque<sup>25</sup>.

Así mismo se debe recalcar que en muchas zonas de Bolivia, existen asentamientos de colonos recientes que no están adaptados al ambiente tropical, por lo que sus métodos de corte y quema son improvisados, no son sostenibles y causan degradación del suelo, del bosque y consecuentemente, de la biodiversidad.

---

<sup>23</sup> RUSSELL, W. M. S. The slash-and-burn technique. En: Natural History. Vol. 78 No. 3 (1968); p. 58 - 65.

<sup>24</sup> OYAMA, Alfredo *et al.* La dinámica de deforestación y quemadas en el Amazonas: un análisis microeconómico. [en línea]. (Brasil). [citado en 2005-05-20]. Red Forestal de Desarrollo Rural, 1993. Disponible en Internet: <http://www.odifpeg.org.uk/rdfn/spanishfiles/spanishrdfnpdffiles/16c.pdf.html>.

<sup>25</sup> WARNER, Op. cit.,

## 1.4 PROCESO DEL SISTEMA DE ROZA, TUMBA Y QUEMA

La roza, tumba y quema es considerada como un sistema agroforestal secuencial con dos fases: un período corto de cultivo, de uno a tres años alternado con un período de descanso de 7 o más años. Durante el primero hay extracción de nutrientes y disminución de la materia orgánica y durante el segundo hay una recirculación de minerales entre el suelo y la biomasa vegetal restableciéndose la materia orgánica<sup>26</sup>. Cuando el bosque se ha regenerado y con esto se haya recuperado la fertilidad del suelo, se vuelve a tumar para dar inicio nuevamente al proceso<sup>27</sup>.

El corte y quema crea un sistema de «descomposición acelerada» que produce la secuencia general de flujo de nutrientes en el bosque tropical. En lugar de contar con la descomposición natural del bosque tropical que produce nutrientes, este agricultor «acelera la descomposición natural quemando los campos rozados y talados». Por cuanto la descomposición acelerada es menos eficiente que la natural y conlleva la pérdida de muchísima energía, la fertilidad de los suelos disminuye rápidamente. Por ello se vuelve necesario dejar las tierras en barbecho para que puedan recuperar su fertilidad<sup>28</sup>.

Los agricultores de corte y quema reconocen que la fertilidad del suelo está vinculada al crecimiento del bosque. Consideran, por tanto, que un bosque maduro tendrá suelo bueno para los cultivos<sup>29</sup>. Esto es confirmado por las investigaciones edafológicas que vinculan los elementos nutrientes con la biomasa existente en el ecosistema del bosque pluvial tropical; cuando mayor sea la biomasa, mayor será la cantidad de nutrientes disponibles para los cultivos<sup>30</sup>.

---

<sup>26</sup> Agricultura migratoria, Op. cit.

<sup>27</sup> REMMERS, Gastón y UCAN, Edilberto. La Roza-Tumba-Quema Maya: evaluación de un sistema agroecológico tradicional bajo presiones de cambio tecnológico. [en línea]. (Mexico). 1993. [citado en 2005-06-20]. Disponible en Internet: [http://www.infororganic.com/descargas/agroeco1/1\\_amp\\_nbsp\\_La\\_amp\\_nbsp\\_Roza.pdf+agricultura+de+roza+tumba+y+quema\\*Remmers&hl=es.html](http://www.infororganic.com/descargas/agroeco1/1_amp_nbsp_La_amp_nbsp_Roza.pdf+agricultura+de+roza+tumba+y+quema*Remmers&hl=es.html).

<sup>28</sup> RUDDLE, K. y MANSHARD, W. Renewable natural resources and the environment. Dublin: Ticooly International (f UNU). p. 75. Citado por: WARNER, Katherine. La agricultura migratoria: conocimientos técnicos locales y manejo de los recursos naturales en el trópico húmedo. Roma, Italia: FAO, 1994. 80 p.

<sup>29</sup> DOVE, M. R. Forest preference in swidden agriculture. En: Tropical Ecology. Vol. 24, No. 1 (1983); p. 122 – 142.

<sup>30</sup> JORDAN, C. F. Amazon Rain Forest. En: American Scientist. Vol. 70, (1982); p. 394 – 401.

Los agricultores que practican esta actividad, rotan sus tierras o chacos durante varios años antes de que surja la necesidad de desmontar nuevos campos para la siembra.<sup>31</sup> En la actualidad los períodos de descanso se hacen más cortos, generando procesos de pérdida en la fertilidad del suelo, y demás impactos ambientales, lo que obliga al agricultor a extender su área de cultivo<sup>32</sup>. Esta práctica comprende las siguientes actividades:

**1.4.1 La roza.** Es la labor de segar con machete la cobertura vegetal herbácea y arbustiva; la vegetación cortada se deja sobre el suelo para que seque durante un determinado tiempo<sup>33</sup>.

**1.4.2 La tumba.** Es el corte y la caída de la cobertura vegetal de porte arbóreo. Generalmente se realiza inmediatamente después que el período de lluvia cese.

**1.4.3 Secado.** Luego de la tala y desmonte, se procede al trozado de los rastrojos vegetales para su secado, la duración de este proceso es de 30-60 días, dependiendo del tipo de vegetación<sup>34</sup>.

**1.4.4 Quema.** La quema del chaco se realiza cuando la biomasa cortada está seca; una vez que los restos vegetales pierden el 85% de la humedad, se procede a la quema, que generalmente se realiza en horas de alta incidencia solar, en algunos casos se lo realiza en horas nocturnas aprovechando la velocidad del viento.<sup>35</sup>

---

<sup>31</sup> GOULD, Kevin y QUIVIQUIVI, Esteban. Regeneración arbórea posterior a la agricultura de chaqueo y quema en el oriente boliviano: implicaciones para el manejo forestal. Santa Cruz, Bolivia: USAID, 2000. 21p.

<sup>32</sup> Ibid., p. 12

<sup>33</sup> CUELLAR, Luis *et al.* Manual de arroz para pequeños agricultores. Santa Cruz, Bolivia: CIAT, 2003. p. 1.

<sup>34</sup> Ibid., p. 2.

<sup>35</sup> MENDOZA, Ramiro. Estudio del efecto del chaqueo en las propiedades físicas y químicas del suelo en la zona subtropical de Alto Beni, área IV. La Paz, Bolivia, 1997, 130 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ingeniería.

**1.4.5 Chalqueo.** Esta actividad se realiza después de la quema, cuando la vegetación no ha sido consumida totalmente por el fuego. Se recogen y amontonan los residuos para posteriormente ser quemados nuevamente por el fuego.

Para la práctica de la agricultura migratoria se utiliza principalmente tracción humana e implementos agrícolas manuales. Las herramientas de habilitación de tierras y labranza empleados por los campesinos constan, entre otros, de hacha, machete, sembradora y motosierra, en función de sus posibilidades económicas. El único insumo utilizado es la semilla, que normalmente proviene de la cosecha anterior. Entre las labores culturales se practica solamente el deshierbe, por lo que esta forma de producción agrícola se realiza con muy baja inversión de capital<sup>36</sup>.

## 1.5 BIOMASA

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas, residuos provenientes de la agricultura y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía mediante diferentes procesos. Las plantas han capturado previamente esta energía a través de la fotosíntesis, transformando la luz solar en energía química; durante el proceso fotosintético, las plantas combinan el dióxido de carbono de la atmósfera con el agua del suelo para generar carbohidratos, que forman los bloques con los que se construye la biomasa. En este sentido, la energía solar se almacena en los enlaces químicos de los compuestos estructurales de la biomasa<sup>37</sup>.

Los ecosistemas forestales son considerados los grandes sumideros terrestres de gases de efecto invernadero (GEI) ya que éstos absorben dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y almacenan el carbono en la biomasa; por tanto, las actividades que mantienen o aumentan la biomasa de los ecosistemas forestales contribuirán con la mitigación del efecto invernadero<sup>38</sup>.

---

<sup>36</sup> Agricultura migratoria, Op. cit.,

<sup>37</sup> Manuales sobre energía renovable: Biomasa/Biomass Users Network (BUN-CA). 1 ed. ISBN:9968-904-02-3. [en línea]. San José (Costa Rica). 2002. [citado en 2005-08-02]. Disponible en Internet: <http://www.fonamperu.org/General/mdl/documentos/F.-%20BIOMASA.pdf.html>.

<sup>38</sup> VALLEJOS BARRA, O., MENDOZA ALVAREZ, M. y SANQUETTA, C. Impacto del cambio climático en modelos de captura de carbono 2003. Paraná – Brasil, 2003. p. 3.

Los mecanismos que rigen el ciclo de los nutrientes en los bosques tropicales húmedos están localizados en los suelos superficiales y en la biomasa. Cuando la materia orgánica del suelo se descompone, sus nutrientes son absorbidos y recirculan nuevamente a través de la vegetación natural. Con una continua cubierta vegetativa o con sistemas de cultivos permanentes se pierden muy pocos nutrientes. Pero si la vegetación sufre una constante perturbación, como en las cosechas anuales, los niveles de nutrientes se reducen por lixiviación, erosión del suelo y la misma cosecha, lo que hace necesaria la adición de fertilizantes<sup>39</sup>.

La Necromasa se define como la masa vegetal muerta compuesta por pedazos de madera, leños, troncos, ramas o árboles muertos en pie o caídos<sup>40</sup>. La madera muerta se reconoce como un componente muy importante en los ecosistemas de bosque, además que puede representar un depósito importante de carbono en los trópicos. La descomposición lenta de la madera hace que este compartimento almacene carbono durante mucho tiempo y sea un potencial sumidero a largo plazo<sup>41</sup>. Además, la cantidad acumulada de este material en bosques primarios, es generalmente alta como lo encontrado en la Amazonía, con valores entre 25 y 26 t ha<sup>-1</sup>, lo cual significa un porcentaje alto de la biomasa total del bosque<sup>42</sup>.

## 1.6 QUEMA DE BIOMASA

Según Ciesla, “el término “quema de la biomasa” incluye todas las actividades humanas intencionales asociadas con el desmonte, quema de la vegetación de la sabana para estimular la regeneración del pasto para el ganado, quema de leña y de carbón vegetal y consumo de residuos agrícolas”<sup>43</sup>. La FAO<sup>44</sup> define el término “incendios”, como “aquellos que se verifican en tierras vírgenes, con excepción de

---

<sup>39</sup> PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, Op. cit.

<sup>40</sup> SALDARRIAGA, J. G. Recuperación de la selva de tierra firme en el alto río Negro Amazonía Colombiana – Venezolana. Tropenbos, Santa Fé de Bogotá, Colombia. 1994.

<sup>41</sup> DELANEY, M *et al.* The quantity and turnover of dead wood in permanent forest plots in six life zones of Venezuela. En: Biotrópica. Vol. 30, (1998); p. 2 – 11.

<sup>42</sup> ALVAREZ, E. Composición florística, diversidad, estructura y biomasa de un bosque inundable en la Amazonía Colombiana. Medellín, 1993. Trabajo de tesis (Magíster en Biología). Universidad Antioquia, Medellín. Área de Ecología.

<sup>43</sup> CIESLA, William. Cambio Climático, Bosques y Ordenación Forestal: una visión de conjunto. Roma: FAO, 1996. p. 60.

<sup>44</sup> FAO, 1986. Citada por Ciesla, Op. cit., p. 60.

los que son de carácter intencional”. Ciesla, calcula que anualmente se queman entre 12 y 13 millones de hectáreas de bosques y otras tierras arboladas, las cuales en mayor parte son debido a causas antropogénicas. Las causas naturales de los incendios son los relámpagos de las tempestades, la actividad volcánica y la quema de los depósitos de turba y carbón<sup>45</sup>.

Entre agosto y octubre el trópico y sub-trópico de Sudamérica se inicia la temporada de quema de biomasa para despejar campos y abrir nuevas áreas para el cultivo. Este proceso que puede involucrar quema de pastizales o abrojes en la Pampa Húmeda implica en el Chaco, el Matto Grosso y Amazonía, el despeje de zonas de bosques nativos con la consiguiente pérdida de importantes reservas de biomasa, pérdida de la capacidad de retención de aguas en las principales cuencas hídricas de la región, erosión de suelos, riesgo de pérdida de riqueza de los suelos en los años siguientes, sin olvidar la brutal emisión de gases de efecto invernadero y precursores de ozono troposférico a la atmósfera<sup>46</sup>.

Los componentes principales de la quema de biomasa son los bosques (tropical, templado y boreal); las sabanas, los campos agrícolas después de la cosecha y la madera para cocinar y para la producción de carbono vegetal (Tabla 1). Se calcula que la quema de sabanas tropicales destruye tres veces más materia seca por año que la de selvas tropicales<sup>47</sup>.

**Tabla 1. Tipos de biomasa quemada**

Fuente de Quema	Biomasa Quemada (Ton materia seca/año)	Carbón liberado (Ton materia seca/año)	Proporción del total de carbono liberado (%)
Sabanas	3690	1660	42.1
Desechos agrícolas	2020	910	23.1
Bosques tropicales	1260	570	14.5
Leña	1430	640	16.2
Bosques templados y boreales	280	130	3.3
Carbón vegetal	21	30	1.0
Total Mundial	8700	3490	100

Fuente: Adaptado de Andrade (1991) en Environmental Science and Technology (1995)

<sup>45</sup> CIESLA, Op. cit., p. 60.

<sup>46</sup> CANZIANI, Pablo. Quema de biomasa. En: Potlach, Buenos aires. (5, octubre, 2005).

<sup>47</sup> Disponible en Internet: <http://www.lead.virtualcenter.org/es/dec/toolbox/Indust/BioBurEA.html>.

## 1.7 IMPORTANCIA DE LA QUEMA

La utilización del fuego, en los sistemas de tumba y quema, como herramienta para limpiar los terrenos, ha sido utilizada hace muchos años. Ésta práctica está concentrada en regiones tropicales, y su utilización acaba con especies vegetales dominantes, regresa nutrientes al suelo y consume la hojarasca acumulada en el piso de los bosques, permitiendo a los agricultores nativos limpiar la tierra de forma rápida y eficiente, con la menor cantidad de mano de obra<sup>48</sup>.

La quema, casi universalmente asociada al cultivo migratorio, causa que ciertos nutrientes se pierdan en la atmósfera o se liberen en las cenizas, expuestas al escurrimiento del agua. Sin embargo, estudios efectuados en Ghana demostraron que después de la quema, el suelo forestal retiene casi todo el potasio (K), calcio (Ca), y magnesio (Mg) en los primeros 30 cm. También hubo un aumento pronunciado del pH. El aumento del N y del carbono (C) en el suelo se debió a la mezcla de partes de la vegetación con el suelo<sup>49</sup>. Cuando el residuo es muy rico en carbono, en contraste con el nitrógeno (C/N 25 a 100), el nitrógeno del residuo puede ser inmovilizado por su incorporación en la biomasa microbiana. Sin embargo, la quema convierte al nitrógeno en una forma inmediatamente disponible para su absorción por las plantas. Aún cuando se pierde la parte del nitrógeno por volatilización durante la combustión, la relación C/N de la ceniza es menor en relación con la de los residuos sin quemar<sup>50</sup>.

Con la quema hay una disminución de la acidez del suelo, puesto que las cenizas vegetales suelen ser alcalinas, la quema incrementa el pH del suelo. Esto ayuda a superar uno de los problemas más graves de los suelos tropicales, la toxicidad de aluminio, por cuanto un incremento en el pH del suelo reduce el aluminio intercambiable. El calentamiento del suelo permite que los nutrientes almacenados estén más accesibles para las plantas y haya un control de malezas, esto significa que habrá que deshierbar menos, por ello, los agricultores de corte y quema asocian el bosque alto y las buenas quemas con poco deshierbe y altos rendimientos<sup>51</sup>.

---

<sup>48</sup> CANZIANI, Op. cit.

<sup>49</sup> El Sistema Agroforestal, Op. cit.,

<sup>50</sup> GLIESSMAN, Stephen. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica. CATIE, 2002. p. 146.

<sup>51</sup> GLASS, E. H. y THURSTON, H.D. Traditional and modern crop protection in perspective. En: Bioscience. Vol. 28, No. 2 (1978); p. 110.

Los agricultores de corte y quema reconocen que una buena quema mejora la producción del campo de cultivo y reduce el tiempo dedicado al deshierbe. El problema consiste en cómo conseguir una buena quema. Mientras que la selección del sitio y el desbroce son actividades controladas por el agricultor, los resultados de la quema dependen mucho de la buena suerte<sup>52</sup>. Por consiguiente, el deshierbe es un trabajo esencial que debe realizarse para que no disminuyan las cosechas o para que no se pierdan del todo. Puesto que una buena quema elimina las semillas de la maleza<sup>53</sup>.

Considerando el grado de descapitalización y el hecho de que los productores no tienen acceso a otras alternativas, el uso de la quema se justifica por ser el proceso menos oneroso de preparación, en comparación a otros métodos para sacar la biomasa formada en los troncos y ramas. Es conveniente decir que las quemas promueven la fertilización gratuita, en términos de diversos nutrientes, además de ayudar en el control de hierbas dañinas y plagas<sup>54</sup>.

La periodicidad de las quemas es un factor que podría regular las pérdidas de nutrimentos. Si las quemas ocurren en forma anual, puede producirse una reducción en el capital de nutrimentos del suelo, especialmente de materia orgánica, P y K, pero si estas ocurren en forma bianual o trianual se reducen las pérdidas o se puede alcanzar un balance estable<sup>55</sup>.

---

<sup>52</sup> WARNER, Op. Cit.

<sup>53</sup> HAMES, R. Monoculture, polyculture, and polyvariety in tropical forest swidden cultivation. En: Human Ecology. Vol. 11, No. 1 (1983); p. 24.

<sup>54</sup> OYAMA, Op. cit., p. 7 – 8.

<sup>55</sup> HERNÁNDEZ, Ismael y LOPEZ, Danilo. Pérdida de nutrimentos por la quema de la vegetación en una sabana de Trachypogon. En: Revista de Biología Tropical. Venezuela. Vol. 50 No. ¾ (febrero. 2002). p. 1018.

## 1.8 IMPACTOS DE LA QUEMA

La combustión completa de la materia orgánica sobre la superficie del suelo incinera la mayoría del nitrógeno y componentes de ácidos orgánicos, regresando cationes inorgánicos al suelo (esencialmente  $K^+$  y  $Ca^{2+}$ ) los cuales tienen en consecuencia un efecto alcalinizante. La potencia de este efecto depende de la intensidad del fuego y si se completó la combustión de la biomasa vegetal, pero algunos aumentos de hasta tres o más unidades de pH en el suelo, son factibles durante los primeros días posteriores al fuego, especialmente una vez que el suelo es humedecido por la lluvia<sup>56</sup>.

A una temperatura de 200 – 300 °C durante 20 – 30 minutos hay una reducción de 85% en la materia orgánica, con la consecuente liberación de  $CO_2$ , pérdida de nitrógeno y azufre en forma volátil y el depósito de minerales. La ceniza dejada luego de quemar, es fuente valiosa de nutrimentos y contiene hasta 2,6% de potasio y puede producirse hasta en 0,4 y 0,67  $Kg/m^2$ , además de cantidades de fósforo, calcio, magnesio y otros minerales. Esta ceniza es rápidamente incorporada al suelo con la precipitación y sus componentes en sí son fácilmente disponibles como parte de la solución del suelo<sup>57</sup>.

El efecto inmediato de esta quema es la producción y liberación a la atmósfera de gases y partículas resultantes de la combustión de biomasa. Los productos de la combustión instantánea de la vegetación quemada incluyen dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, hidrocarburos distintos al metano, óxido nítrico, cloruro de metilo y varias partículas<sup>58</sup>.

Durante la quema de un bosque, el dióxido de carbono que permaneció secuestrado por un período que varía entre décadas y siglos es súbitamente liberado y devuelto a la atmósfera en cuestión de horas. La quema de bosques también destruye un importante sumidero para el dióxido de carbono atmosférico. En consecuencia, las quemas tienen impactos a corto y largo plazo sobre el presupuesto global del dióxido de carbono.<sup>59</sup>

---

<sup>56</sup> GLIESSMAN, S. Op. cit., p. 139.

<sup>57</sup> Ibid., p. 148.

<sup>58</sup> GCCIP, 1997. Global Climate Change Information Programme. Disponible en Internet: URL: <<http://www.doc.mmu.au.uk/>>

<sup>59</sup> Op. cit., <<http://lead.virtualcenter.org/es/dec/toolbox/Indust/BioBurEA.htm>>

Si la vegetación quemada no se regenera, el dióxido de carbono liberado permanece en la atmósfera. Si el ecosistema quemado se regenera por completo, el dióxido de carbono es removido eventualmente de la atmósfera a través de la fotosíntesis e incorporado de nuevo en el crecimiento vegetativo. Sin embargo, si se evita la regeneración, el dióxido de carbono no se reincorpora ni a la vegetación ni al suelo.<sup>60</sup>

## 1.9 EFECTO INVERNADERO

Término que se aplica al papel que desempeña la atmósfera en el calentamiento de la superficie terrestre. La atmósfera es prácticamente transparente a la radiación solar de onda corta, absorbida por la superficie de la Tierra. Gran parte de esta radiación se vuelve a emitir hacia el espacio exterior con una longitud de onda correspondiente a los rayos infrarrojos, pero es reflejada de vuelta por gases como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los clorofluorocarbonos (CFC) y el ozono, que a pesar de poseer concentraciones mucho más bajas en la atmósfera, comparativamente con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), potencialmente tienen niveles de calentamiento mucho mayores. Cuando el sistema climático se encuentra equilibrado, la radiación solar absorbida está en armonía con la radiación emitida al espacio por la tierra y la atmósfera. Los factores que alteran este equilibrio y por ende cambian el clima, son agentes que fuerzan la radiación, los cuales incluyen los gases irradiadores activos llamados gases de efecto invernadero. Este efecto de calentamiento es la base de las teorías relacionadas con el calentamiento global<sup>61</sup>.

Los niveles crecientes de concentración de los gases de efecto invernadero que se registran en la atmósfera, producto de diversas actividades humanas, constituyen un indicio serio en cuanto a las posibilidades que se produzcan cambios en clima del planeta. Desde hace muchos años, científicos han alertado a la comunidad internacional sobre el efecto invernadero, provocado por una elevada concentración en la atmósfera de gases que obstaculizan la salida de una

---

<sup>60</sup> LEVINE, Op. Cit.,

<sup>61</sup> PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. La lucha contra el cambio climático: el compromiso del parlamento latinoamericano. Buenos aires. Noviembre 1998. Primer taller del Parlamento Latinoamericano sobre el cambio climático - Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. 174 p.

parte de la radiación que entra en esta<sup>62</sup>. La principal razón detrás de la subida acelerada de las temperaturas es el descenso en las emisiones de dióxido de sulfuro, que enfría la atmósfera, mientras que los gases que provocan el efecto invernadero, como el dióxido de carbono, la calientan<sup>63</sup>.

El contenido en dióxido de carbono de la atmósfera se ha incrementado aproximadamente un 30% desde 1750, como consecuencia del uso de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón; la destrucción de bosques tropicales por el método de cortar y quemar también ha sido un factor relevante que ha influido en el ciclo del carbono. El efecto neto de estos incrementos podría ser un aumento global de la temperatura, estimado entre 1,4 y 5,8 °C entre 1990 y 2100. Este calentamiento puede originar importantes cambios climáticos, trayendo como consecuencias el derretimiento de las capas polares, subida del nivel del mar, migración de zonas agrícolas, migración de enfermedades, sequías, huracanes, tormentas<sup>64</sup>.

## 1.10 CAPTURA DE CARBONO

Es el proceso mediante el cual se capta y se almacena una gran cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera de la que se libera hacia la misma. El tiempo de almacenaje en el que dicho carbono no vuelve a la atmósfera, varía. Durante la fotosíntesis, las plantas absorben CO<sub>2</sub>, liberan el oxígeno y almacenan el carbono en forma de biomasa hasta el momento de su descomposición. Si en lugar de descomponerse las plantas se convierten en combustibles fósiles, pueden continuar almacenando carbono durante siglos<sup>65</sup>.

Los ecosistemas forestales son considerados los grandes sumideros terrestres de gases de efecto invernadero (GEI) debido a que éstos absorben dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico y almacenan el carbono en la biomasa; por tanto, las

---

<sup>62</sup> ALFARO, Marielos. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. Revista Forestal Centroamericana (CATIE). No.19 (abr. – jun. 1997); p. 9 - 12.

<sup>63</sup> SIFEM (Dirección Nacional de Políticas de Seguridad y Protección Civil). Cambio Climático. [en línea]. [Argentina]. 2000. [Citado el 8 de julio de 2005]. Disponible en Internet: URL: <http://www.proteccioncivil.gov.ar/calentamiento.html>

<sup>64</sup> IPCC, Op. cit.

<sup>65</sup> GAYOSO AGUILAR, Jorge. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Trabajo presentado en Taller Secuestro de Carbono. Mérida, Venezuela, 2001. p. 2.

actividades que mantienen o aumentan la biomasa de los ecosistemas forestales contribuirán con la mitigación del efecto invernadero<sup>66</sup>.

**1.10.1 Carbono almacenado.** Hace referencia al carbono que esta acumulado en determinado ecosistema vegetal. Tiene en cuenta criterios como tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que se basan en datos de biomasa calculada a partir de volúmenes por hectárea de inventarios forestales<sup>67</sup>. Esta cantidad promedio de carbono jamás será liberada a la atmósfera, en este caso, si se accede a un pago por servicios ambientales, sería un solo pago por conservación del bosque, evitando cambios en el uso de la tierra<sup>68</sup>. El carbono almacenado se expresa en ton C ha<sup>-1</sup>.

**1.10.2 Carbono fijado.** Se refiere a la cantidad de carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de fijar en un período de tiempo dado<sup>69</sup>. El carbono fijado es una forma temporal de almacenamiento, es decir, permite el pago a los propietarios de bosques o sistemas agroforestales que evitan cambios en el uso de la tierra durante 20 años<sup>70</sup>. El carbono fijado se expresa en ton C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

En un estudio sobre fijación de carbono determinaron, que ésta fue mayor en los bosques y plantaciones perennes y sistemas agroforestales seguido por los pastos mejorados y siendo los más bajos con cultivos anuales. La posible venta de servicios ambientales de captura de carbono por bosques nativos puede ser una herramienta que financie, en conjunto con otros servicios ambientales como: sustento de la biodiversidad, regulación y producción de agua y protección de suelos, el desarrollo y manejo forestal sostenible de vastas áreas de bosque nativo que se encuentran en estado degradado y con muy pocas posibilidades de ser manejados de forma ambiental, social y económicamente sostenible<sup>71</sup>.

---

<sup>66</sup> VALLEJOS BARRA, O., Op. cit., p. 3.

<sup>67</sup> SEGURA, M. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis* en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Ing. For. Heredia, CR, 1997. 34 p.

<sup>68</sup> RAMÍREZ, O. y GÓMEZ, M. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. En: Revista forestal Centroamericana (CATIE). No. 37 (jul. – sep. 1999); p. 17 – 22.

<sup>69</sup> SEGURA, Op. cit., 34 p.

<sup>70</sup> RAMÍREZ, Op. cit., p. 17 – 22.

<sup>71</sup> GAYOSO, Jorge, GUERRA, Javier y ALARCÓN, Diego. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2002. p. 5.

El secuestro de carbono, además, es una alternativa que ofrece a los países en desarrollo y a los organismos dedicados a la conservación ecológica un instrumento para financiar la ampliación de sus áreas ecológicas frágiles mejorando la situación económica y política de muchas zonas rurales, el mercado de carbono representa ingresos completamente nuevos, aumentando la rentabilidad de algunas actividades actuales frenando las migraciones a las ciudades<sup>72</sup>. Para que los proyectos y las actividades de secuestro de carbono sean exitosos deberán tener un fuerte componente de desarrollo sostenible de modo que sus resultados mejoren las condiciones de vida de los agricultores<sup>73,74</sup>.

### 1.11 PROTOCOLO DE KIOTO

Se están intentando distintos esfuerzos internacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En 1997 se reunieron en Kioto representantes de los países integrantes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, creada en el seno de la Cumbre sobre la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992. En el Protocolo de Kioto se estableció que los países desarrollados debían reducir sus emisiones de gases causantes del efecto invernadero en un 5,2% para el año 2012 respecto a las emisiones del año 1990. Sin embargo, este protocolo debe ser ratificado por al menos 55 países desarrollados cuyas emisiones de gases de efecto invernadero sumen el 55% del total<sup>75</sup>.

En julio de 2001, en la cumbre celebrada en la ciudad alemana de Bonn, se logró un acuerdo global sobre las condiciones para poner en práctica el Protocolo de Kioto. El acuerdo de Bonn fue firmado por 180 países, entre los que no figuraba Estados Unidos, que no ratificó este acuerdo mundial. En octubre de ese mismo año, se celebró en Marrakech la VII Reunión de las Partes de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, en la que se terminaron de resolver algunos

---

<sup>72</sup> SALAZAR ENRÍQUEZ, Milena. Restauración y protección de agroecosistemas estratégicos en la captura de carbono, municipio de Pasto, Nariño. Pasto, Nariño, 2004. p. 5.

<sup>73</sup> ROBERT, Michel. Captura de Carbono en los Suelos para un mejor Manejo de la Tierra. [en línea]. Roma (Italia). FAO, 2002. [citado en 2005-06-15]. Disponible en Internet: [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/005/Y2779S/y2779s0a.html](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y2779S/y2779s0a.html).

<sup>74</sup> ALEGRE, Op.cit.

<sup>75</sup> PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, Op. cit., p. 20.

asuntos que habían quedado pendientes en Bonn. El acuerdo adoptado establece cómo tienen que contar los países sus emisiones de efecto invernadero, cómo pueden contabilizar los llamados sumideros de dióxido de carbono (bosques y masas forestales capaces de absorber los gases de efecto invernadero), cómo serán penalizados si no lo cumplen y cómo deben utilizar los mecanismos de flexibilidad (compraventa de emisiones entre países). Este acuerdo también regula las ayudas que recibirán los países en vías de desarrollo para afrontar el cambio climático<sup>76</sup>.

**1.11.1 Los bosques como sumideros de carbono.** Desde tiempos inmemorables, el hombre ha reconocido la cantidad de bienes y servicios diversificados que producen los bosques. En la actualidad, el calentamiento global, problema de gran magnitud, ha hecho que la humanidad centre su mirada en estos ecosistemas para reconocer su vital papel en lo que se podría denominar como limpieza de la atmósfera. Los bosques ya sean naturales, o plantados, son sumideros de carbono que tienen la capacidad de fijar en forma continua carbono<sup>77</sup>.

No existe consenso sobre la cantidad exacta de carbono presente en la atmósfera. Ciesla (1996), indica que existen 720 ton C; el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, estima una cifra de 775 ton C y otros autores plantean un valor de 750 ton C albergados en este depósito. Los océanos contienen cerca de cincuenta veces más carbono que la atmósfera, predominantemente en forma de carbono inorgánico disuelto. La vegetación y los suelos contienen aproximadamente tres veces y medio más carbono que la atmósfera, sin embargo, la cantidad de carbono almacenada globalmente en los suelos es mucho mayor que en la vegetación<sup>78</sup>.

En los trópicos, el Carbono (C) que está en sumideros superficiales varía entre 60 y 230 ton C ha<sup>-1</sup> en bosques primarios, y entre 25 y 190 ton C ha<sup>-1</sup> en bosques secundarios (Tabla 2). En bosques tropicales, los sumideros de C en el suelo varían entre 60 y 115 ton C ha<sup>-1</sup>. En otros sistemas de uso del suelo, tales como

---

<sup>76</sup> PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, Op. cit., p. 21 – 24.

<sup>77</sup> ALFARO, Op. cit., p. 10 - 11.

<sup>78</sup> IPCC, Op. cit.

los agrícolas o ganaderos, los sumideros de C en el suelo son considerablemente pequeños<sup>79</sup>.

**Tabla 2. Depósitos superficiales de Carbono en los bosques tropicales.**

Almacenamiento de Carbono (ton C ha <sup>-1</sup> )		
Tipo de Bosque	Primario	Secundario
Bosque Nuboso	230	190
Bosque Estacional	140	120
Bosque Seco	60	25

Fuente: Brown y Lugo, 1992; Brown et al. 1989.

Cuando los bosques están maduros no ocurre asimilación neta de carbono, ya que el ecosistema boscoso está saturado con este gas. Por otro lado, los árboles y su energía biomásica pueden usarse como sustitutos de los combustibles fósiles. Esta es una meta a largo plazo debido al hecho de que cuando se queman los árboles, se libera carbono a la atmósfera; pero es carbono "reciclado", y no se agrega carbono nuevo (fósil) al sistema. Al analizar la situación actual a nivel Latinoamericano, se tiene que la pérdida de bosques en América Latina entre 1981 y 1990 se ubicó en el orden de las 22 mil hectáreas diarias. Sin embargo, el principal problema es que no ha habido un adecuado aprovechamiento de este recurso, ya que la mayor parte del bosque se ha dejado descomponer o se ha quemado, liberando así el carbono fijado a la atmósfera<sup>80</sup>.

La estrategia de cómo se puede evitar que el sector forestal contribuya al efecto invernadero es conservando el bosque natural y creando nuevas áreas forestales mediante la regeneración natural y el establecimiento y manejo de plantaciones forestales. La parte de mayor trascendencia al momento de ejecutar estas actividades es el conservar el ecosistema, extraer un producto que fija el carbono permanentemente y permitir que el ecosistema crezca a una tasa que permita una mayor producción de madera y, por ende, una mayor fijación de carbono en la biomasa<sup>81</sup>.

---

<sup>79</sup> KANNINEN, Markku. Secuestro de Carbono en Bosques: El papel de los bosques en el ciclo global del carbono. En: Memorias de una conferencia electrónica sobre agroforestería para la producción animal en América Latina. FAO, Roma, 2000. p.

<sup>80</sup> ALFARO, Op. cit., p. 10 – 11.

<sup>81</sup> Ibid., p. 10.

## 1.12 MEDICION DE BIOMASA

Según Whitmore: “la biomasa de una comunidad de plantas se define como una masa seca total. Incluye follaje, ramas, troncos y raíces pero excluye la hojarasca caída y la materia orgánica en descomposición. Generalmente se hace la distinción entre biomasa aérea y biomasa subterránea, tanto en aspectos conceptuales como metodológicos<sup>82</sup>”.

Básicamente existe dos métodos para medir la biomasa aérea de un bosque: métodos directos destructivos y métodos indirectos que trabajan con simulaciones a partir de información básica de inventarios y de información de imágenes satelitales.

Según Satoo y Madgwick, se pueden emplear como métodos destructivos la cosecha de la totalidad de la vegetación, la cual se hace sobre un área conocida y se extrapola a una hectárea. Es la más precisa (pues omite los errores de estimación), pero también es la más dispendiosa a medida que se trabaja con coberturas de estados sucesionales avanzados y el método del Árbol medio, se realiza la estimación de la biomasa aérea, basado en la medición y cuantificación de la biomasa de uno o mas árboles de un rodal cuyos tamaños estén cercanos al árbol de diámetro medio. La mayoría de estos métodos toma el árbol de área basal media<sup>83</sup>.

Entre los métodos indirectos se encuentra el uso de modelos de regresión, donde se relaciona la biomasa seca de algunos árboles o de sus componentes con otras variables (diámetro normal, altura, densidad de la madera, entre otras). Los modelos obtenidos se utilizan para estimar la biomasa total de los árboles o de alguno de sus componentes en un área conocida. El resultado se extrapola a una hectárea. Uno de los modelos más utilizados en los estudios de biomasa para relacionar la masa seca de un árbol o la masa de uno de sus componentes con alguna variable de fácil medición es el modelo alométrico<sup>84</sup>.

---

<sup>82</sup> WHITMORE, Tropical rain forest of the Far East, citado por DEL VALLE, Jorge. Medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribución para la mitigación del cambio climático. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos, 2003. p. 88

<sup>83</sup> SATOO, T. y MADGWICK, H. Forest biomass, citados por FORERO *et al.* El calentamiento climático, el Carbono y los bosques. En: Revista de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. Vol. 17, No. 1 (2000); p. 117.

<sup>84</sup> *Ibid.*, p. 117.

Según Broad:

La alometría estudia los patrones de crecimiento, es decir la proporcionalidad entre razones específicas o relativas de crecimiento. Esta relación se conoce como ley alométrica. Así, las hipótesis de alometría sugieren que existe proporcionalidad entre las tasas de crecimiento relativas de dos variables de “tamaño”, que puede ser el peso de diferentes secciones o partes de un organismo o una de sus dimensiones. Estos cambios en tamaño satisfacen una ecuación o función alométrica<sup>85</sup>.

Para Saldarriaga: “el método de los modelos de regresión es la mejor aproximación y como consecuencia, se adopta en casi todas las investigaciones relacionadas con la cuantificación de la biomasa de los bosques tropicales”<sup>86</sup>.

**1.12.1 Protocolo para Medición de Necromasa.** Esta metodología ha sido elaborada por el equipo técnico de investigación del Proyecto Características y Posibilidades de Mejoramiento del Sistema de Chaqueo para la Producción de Arroz y Maíz con Bajo Impacto Ambiental en Alto Beni, Bolivia (CATIE), basado en las recomendaciones del “Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry”<sup>87</sup>.

Se establecerá la cantidad de necromasa acumulada dentro de una superficie representativa de 500 m<sup>2</sup> (1/20 de hectárea). Con lo anterior se busca determinar la cantidad de carbono que se libera por efecto de la degradación del material vegetal, sugerido por el análisis del peso del material recogido. La recolección de la necromasa se efectuará inmediatamente después de pesar el material en campo.

---

<sup>85</sup> BROAD, R. Allometry and growth, citado por ZAPATA, Mauricio *et al.* Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2003. p. 89.

<sup>86</sup> SALDARRIAGA, C. y ESCOBAR, J. Análisis económico de proyectos forestales como parte del mecanismo de desarrollo limpio en el área de influencia de la central hidroeléctrica Porce II. Medellín, 2001. p 90. Trabajo de grado (economista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de economía.

<sup>87</sup> IPCC, Op. cit.,

**1.12.2 Modelos de Biomasa.** Los modelos de biomasa son modelos matemáticos (o alométricos) donde se relaciona la masa seca de algún componente o del árbol completo, con variables del tamaño del árbol (diámetro, altura, área basal y volumen). El procedimiento más recomendado para estimar la biomasa en bosques tropicales, consiste en relacionar estas variables en una regresión lineal bajo las escalas logarítmicas, lo cual simplifica los cálculos e incrementa la validación estadística al homogeneizar la varianza sobre el rango de los datos<sup>88</sup>.

El procedimiento para proponer los modelos se basa en construir gráficos de puntos entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes, para probar a partir de ellos, los posibles modelos o ecuaciones de regresión que mejor explican la relación entre las variables<sup>89</sup>.

Los estadígrafos más conocidos y ampliamente usados en el campo forestal son: el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ), el Coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  -ajust), el Coeficiente de variación (CV%), la raíz del cuadrado medio del error o error estándar de estimación, donde los valores de  $R^2$  y del  $R^2$  -ajust deben ser altos, en tanto que los valores de CV% y el cuadrado medio del error deben procurarse bajos<sup>90</sup>.

### **1.13 ESTIMACION DE LA FIJACION DE CARBONO EN SISTEMAS AGOFORESTALES**

Según Winrock: “Para monitorear la fijación de Carbono, se requiere una serie de inventarios que cuantifiquen los cambios a lo largo del tiempo. Frecuentemente los inventarios utilizan parcelas permanentes de muestreo como un medio para

---

<sup>88</sup> ZAPATA, M., COLORADO, G. y DEL VALLE, J. Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego, Sergio *et al.* Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, 2003. p. 89.

<sup>89</sup> SEGURA, Milena y VENEGAS, Geoffrey. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Turrialba, 1999. p. 5.

<sup>90</sup> ZAPATA, COLORADO, y DEL VALLE, Op. cit., p.106.

obtener datos estadísticamente más confiables y reducir costos para llevar a cabo el monitoreo y la verificación”<sup>91</sup>.

Sugiere MacDicken:

El establecimiento de parcelas permanentes constituye una de las actividades fundamentales en el monitoreo de proyectos forestales. Las parcelas permanentes tienen ventajas en el monitoreo de Carbono, si se considera que se suministra información confiable y puede ser objeto de verificación externa. Pero el monitoreo a largo plazo de las parcelas permanentes, que permitan estimar las tasas de aumento de la biomasa aérea (y por lo tanto del C y CO<sub>2</sub>), así como el monitoreo de los demás compartimentos en donde se almacena el Carbono en las comunidades vegetales (humus, detritos de madera gruesa y raíces), requiere varios años de observación.

Se pueden ubicar parcelas de 200 m<sup>2</sup> las cuales permiten evaluar eficientemente los cambios en la fijación de Carbono. El monitoreo se realiza periódicamente cada seis meses, después de instalada la parcela<sup>92</sup>.

## 1.14 ESTUDIOS DE CASO

**1.14.1 Biomasa de la Vegetación Herbácea y Leñosa Pequeña y Necromasa en Bosques Tropicales Primarios y Secundarios en Colombia.** Este trabajo se realizó en la cuenca media del río Porce, ubicada en la parte baja de la cordillera Central de los Andes colombianos. Se cuantificó el aporte de la vegetación herbácea y leñosa pequeña como parte de la biomasa aérea, así como el aporte de los detritos vegetales tanto en el suelo como en el vuelo (hojarasca fina, detritos de madera gruesa y árboles muertos en pie), en bosques sucesionales y maduros. Se tomaron muestras en 33 parcelas permanentes de bosques primarios y en 70 de bosques secundarios. El carbono estimado en la VH&LP de los bosques primarios es 0,291 ton ha<sup>-1</sup> y representa 0,26% del carbono promedio total sobre el suelo (CT); la hojarasca fina (HF) con 2,7 ton ha<sup>-1</sup> y los detritos de madera gruesa (DMG) con 2,8 ton ha<sup>-1</sup> aporta cada uno 2,4% del CT. Finalmente,

---

<sup>91</sup> WINROCK. Citado por la FUNDACION SOLAR. Elementos técnicos para inventarios de Carbono en usos del suelo. Guatemala: Ed. Lilian Márquez, 2000. p. 12

<sup>92</sup> MACDICKEN, K. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects, citado por DEL VALLE, J. Op. cit., p. 216

el aporte en carbono de los árboles muertos en pie (AMP) equivale a  $1.24 \text{ ton ha}^{-1}$  que representan 1,08% de CT. En los bosques secundarios se estimó que  $0,39 \text{ ton ha}^{-1}$  de carbono en la VH&LP equivalen a 1,73% del CT; en la hojarasca fina el promedio es  $2,11 \text{ ton ha}^{-1}$  que representa 9,18% del CT, en tanto que  $0,911 \text{ ton ha}^{-1}$  en los DMG y  $0,19 \text{ ton ha}^{-1}$  en AMP representan 3,81% y 0,77% del CT, respectivamente. El carbono promedio total sobre el suelo es  $11,123 \text{ ton ha}^{-1}$  en bosques primarios intervenidos y  $23,683 \text{ ton ha}^{-1}$  en bosques sucesionales.

Se observa, como tendencia general, un aumento en forma exponencial de la acumulación de la necromasa a medida que avanza el estado sucesional de los bosques de la zona. La vegetación herbácea y leñosa pequeña tiende a disminuir con el avance de la sucesión, siguiendo aproximadamente una función exponencial negativa. Se calcularon para cada parcela las relaciones VH&LP/BA y HF/BA como porcentaje, donde BA es la biomasa aérea de los árboles. Se estimaron modelos que relacionan estos porcentajes con el área basal para determinar la tendencia que sigue esta relación y la importancia de los componentes con respecto a la biomasa aérea a medida que avanza el estado sucesional. Este trabajo muestra la dinámica del carbono en la biomasa aérea de VH&LP y en la necromasa como escenario de recuperación de áreas degradadas por la ganadería, sobre una línea base de uso intensivo del suelo<sup>93</sup>.

**1.14.2 Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios intervenidos y secundarios.** En 33 parcelas permanentes de  $1000 \text{ m}^2$  (0.1 ha) en bosques primarios intervenidos y 77 parcelas permanentes de  $500 \text{ m}^2$  (0.05 ha) en bosques secundarios, para un área de muestreo de 7.15 ha, se estimaron las existencias de biomasa y carbono almacenado en los siguientes compartimentos: biomasa aérea, necromasa, biomasa subterránea y suelo. La biomasa aérea total de los bosques primarios promedio  $246,542 \text{ ton ha}^{-1}$ , representado en 92,42% por árboles y arbustos dicotiledóneos, 5,93% en palmas (3,58% la palma mil pesos), 1,41% bejucos y solo 0,24% en hierbas. Los bosques secundarios tuvieron en estos compartimentos una biomasa aérea total cinco veces inferior a los primarios,  $46,491 \text{ ton ha}^{-1}$ . En cuanto a la necromasa total alcanzó  $13,197 \text{ ton ha}^{-1}$  en los bosques primarios intervenidos y  $5,749 \text{ ton ha}^{-1}$  en los bosques secundarios. La biomasa radical en los bosques primarios intervenidos fue  $85,002 \text{ ton ha}^{-1}$ , correspondiendo a las raíces finas 21,10% y 78,90% a las gruesas. En los

---

<sup>93</sup> HERRERA, María *et al.* Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego, Sergio *et al.* Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, 2003. p. 145.

bosques secundarios la biomasa radical fue de 20,648 ton ha<sup>-1</sup>, representada en forma muy equitativa entre las raíces gruesas y las finas (48,09% y 51,91%, respectivamente). Para los primeros 30 cm de suelo se registraron 99,544 ton ha<sup>-1</sup> de carbono orgánico en los bosques primarios intervenidos y una cifra similar para los secundarios (93,600 ton ha<sup>-1</sup>).

Una segunda medición de todas las parcelas permitió estimar la tasa anual de incremento neto de la biomasa aérea en 11,665 ton ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (5,220 ton C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) en los bosques primarios intervenidos, y 6,233 ton ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (2,789 ton C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) en los bosques secundarios. Las tasas anuales de incremento neto de las raíces equivalen a 3,051 ton ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (1,365 ton C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) y 1,862 ton ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (0,833 ton C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) para los bosques primarios y secundarios, respectivamente. Con estos resultados e información secundaria es posible estimar la productividad primaria neta de los bosques primarios intervenidos en 26,715 ton ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> de biomasa seca y en 13,982 ton ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> de biomasa seca para los bosques secundarios<sup>94</sup>.

---

<sup>94</sup> ORREGO, Sergio y DEL VALLE, Jorge. Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego, Sergio *et al.* Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, 2003. p. 215.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología a seguir en el presente estudio, fue desarrollada por el equipo de investigación del Proyecto Características y Posibilidades de Mejoramiento del Sistema de Chaqueo para la Producción de Arroz y Maíz con Bajo Impacto Ambiental en Alto Beni, Bolivia ejecutado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); este estudio como parte del mencionado proyecto, llevó a cabo el desarrollo de la caracterización del sistema de agricultura migratoria de la zona y la cuantificación de la necromasa existente en barbechos de diferentes edades antes y después de la quema.

### 2.1 LOCALIZACION

La investigación se llevó a cabo en la zona de Alto Beni a unos 270 Km al noreste de la ciudad de La Paz, en las Provincias de Sud Yungas y Caranavi del Departamento de La Paz (15° 32' S, 67° 21' O). Se encuentra dividido en 7 áreas, producto de una colonización dirigida (en su mayoría por originarios altiplánicos y aymaras) iniciada en 1961 bajo el Proyecto de Desarrollo del Alto Beni con el fin de diversificar la economía del país incorporando nuevos rubros de producción<sup>95</sup> (Figura 1).

El Alto Beni es parte de los valles sub-andinos, en el sector conocido como faja de los Yungas, con altitudes que oscilan entre los 350 y los 1450 m. El clima es cálido húmedo, con amplias variaciones estacionales. La temperatura promedio mensual varía desde 10.9 °C (julio- agosto, época de frentes fríos) hasta 25.7 °C (enero – febrero). La precipitación anual promedio varía desde 1300 mm en las zonas bajas (estación Covendo) hasta casi 2000 mm en las partes altas (estación Entre Ríos). El período lluvioso se presenta entre noviembre y marzo y el período seco entre mayo y septiembre; la humedad relativa promedio es del 78%<sup>96</sup>.

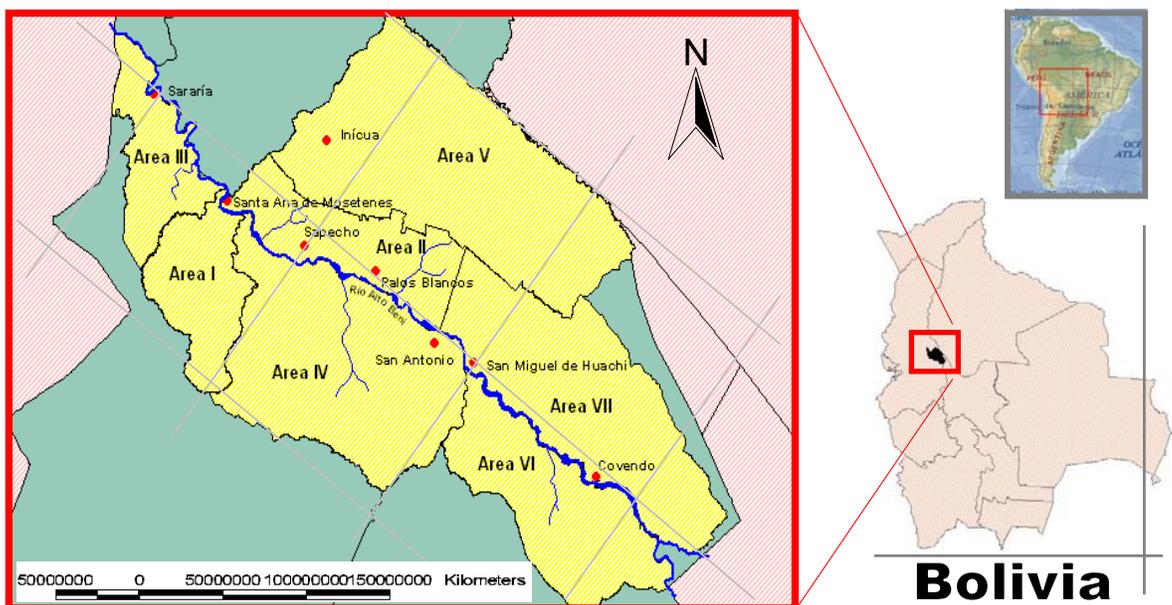
---

<sup>95</sup> VEGA, L. Pautas para el manejo de Bosques Tropicales Húmedos Integrado al Desarrollo Rural en las zonas de Colonización de Bolivia. En: Actas seminario taller internacional. Alternativas de producción en selva tropical húmeda. Las aplicaciones para las zonas de colonización Alto Beni - Yucumo – Rurrenabaque. La Paz, Bolivia, 1995. p. 136 – 154.

<sup>96</sup> SOMARRIBA, Eduardo. Modernización de la cacaocultura orgánica del Alto Beni, Bolivia. Informe Técnico, 2002. Alto Beni, Bolivia.

El área de estudio se clasifica dentro de la zona de vida de bosque húmedo sub-tropical (Sapecho), bosque húmedo sub-tropical transición a seco en Covendo y bosque muy húmedo sub-tropical en Entre Ríos. Los ríos que surcan la zona tienen una alta capacidad erosiva y de arrastre de sedimentos, que provocan deslizamientos de los terrenos con pendiente en la época de lluvia como consecuencia de la deforestación del bosque, establecimiento de cultivos agrícolas en laderas y construcción de caminos. Los suelos predominantes son Ultisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Oxisoles, aproximadamente el 80% son Ultisoles con baja fertilidad y ácidos.

**Figura 1. Ubicación del área de estudio.**



Fuente. Elaboración propia.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

En la región, la mayoría de fincas tienen una superficie promedio de 12 ha. Se encuentran un total de 55 usos de la tierra incluyendo monocultivos (arroz, maíz, papaya, cítricos, banano), cultivos asociados (cacao injerto en asocio con especies forestales), barbechos, bosque, áreas con pendientes incultivables y espacios no agrícolas como caminos, carreteras, arroyos, ríos, sectores con alta

pedregosidad, entre otros. Los principales cultivos de la región son: cacao, cítricos, banano y papaya<sup>97</sup>.

La distribución promedia de una finca de acuerdo a la superficie de los usos, es la siguiente: bosque 39%, barbecho 29%, cultivos 27%, áreas con pendientes incultivables 3% y áreas no agrícolas 2%. Las parcelas donde se realizó la investigación son campos de una hectárea en promedio, donde se ha ejecutado la roza-tumba y quema para el establecimiento del cultivo de arroz, cuya vegetación anterior fueron barbechos de diferentes edades. Por lo general, los campos se cultivan durante 2 años y luego son abandonados.

### 2.3 FASE DE CARACTERIZACIÓN DE FINCAS

Se caracterizó el sistema de agricultura migratoria que se practica en la zona, realizando una entrevista estructurada a 1500 productores registrados en la base de datos del Proyecto Modernización de la Cacaocultura Orgánica del Alto Beni (PMCOAB). Se determinó la cantidad de productores del Alto Beni que practican el sistema de Roza, Tumba y quema lo que corresponde a 953. De esta selección se obtuvo el tamaño de la muestra aplicando la formula (1) utilizada por Fernández<sup>98</sup>.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

**N** = Total de la población

**Z<sub>α</sub><sup>2</sup>** = 1.96<sup>2</sup> para una confiabilidad del 95%

**p** = Proporción esperada del parámetro a evaluar (en este caso 10% = 0.1)

**q** = 1 – p (en este caso 1 – 0.1 = 0.9)

**d** = error de muestreo (en este caso del 5%)

---

<sup>97</sup> VEGA, Milton. Planificación agroforestal participativa para el enriquecimiento de fincas cacaoteras orgánicas con especies leñosas perennes útiles en el Alto Beni, Bolivia. Tesis Mag. Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2005. 109 p.

<sup>98</sup> FERNÁNDEZ, Pita. Determinación del tamaño muestral de población. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. A. Coruña. Cad A ten Primaria, 1996.

Para la distribución de los productores por cada área de colonización, se empleó la siguiente fórmula.

$$ni = n \frac{Ui}{N}$$

Donde:

- n** = Tamaño de la muestra general
- ni** = Tamaño de la muestra en cada área
- N** = Total de la población
- Ui** = Total de la población en cada área

Como resultado se tomaron 114 productores. La distribución de los mismos por cada área de colonización resultó así (Tabla 3).

**Tabla 3. Productores que practican el sistema de roza tumba y quema en Alto Beni.**

Área	Total productores	* Productores seleccionados	Muestra
I	94	79	9
Ila	180	124	15
Ilb	178	128	15
III	176	135	16
IV	364	151	18
V	93	48	6
VI	260	200	24
VII	155	88	11
<b>Total</b>	1500	953	114

Fuente: Este estudio.

Posteriormente se inspeccionaron las fincas y dentro de ellas los cultivos, barbechos y chacos para coleccionar información sobre el uso del suelo (tamaño y distribución de los campos, agronomía, manejo de los cultivos). Los campos en

---

\* Productores que practican el sistema de roza, tumba y quema, que han residido por mas de 10 años en su predio.

barbechos o en arroz y maíz al momento de la visita se analizaron en mayor detalle, preguntando al productor la historia de cultivo y descanso desde el momento de su llegada al lote.

Los datos del diagnóstico se analizaron con estadística descriptiva, incluyendo medidas de tendencias centrales (media, moda, mediana) para las variables cuantitativas discretas y continuas y distribuciones de frecuencias para las variables cualitativas nominales, ordinales y binarias.

## **2.4 FASE DE ESTUDIO DE LA NECROMASA**

Se cuantificó la cantidad de necromasa existente dentro de parcelas representativas de 500m<sup>2</sup> (1/20 de hectárea), en 24 barbechos de 1-12 años de edad (2 repeticiones por edad) donde se ha realizado la quema de la vegetación y en 46 barbechos de 1-12 años de edad sin quema (4 repeticiones por edad con excepción de los barbechos de 11 y 12 años, de los cuales solo se evaluaron tres de cada uno).

### **2.4.1 Parcelas de muestreo**

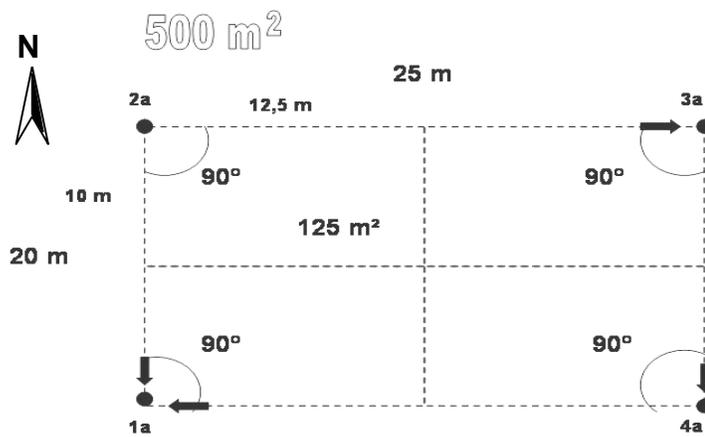
En cada barbecho se estableció una parcela de 500m<sup>2</sup> (20 m x 25 m) de forma rectangular (Figura 2). Las parcelas se establecieron con estacas largas (aprox. 1,5 m) enterradas en el suelo. Las esquinas de las parcelas se ubicaron de acuerdo a las manecillas del reloj. Se colocó una primera estaca en el punto donde se desea iniciar la parcela, de ahí se mide 20 o 25 m a la siguiente estaca, de esta estaca se hace la lectura con la brújula a la estaca anterior y se busca la dirección anterior más o menos 90° para ubicar la siguiente estaca, y así sucesivamente hasta completar las cuatro esquinas de la parcela. Finalmente se mide la distancia de la 3<sup>a</sup> a la 4<sup>a</sup> estaca, asegurándose que la distancia es la correcta, si no es así se debe corregir la posición de las estacas (Figura 3).

**Figura 2. Establecimiento de la parcela de muestreo en un barbecho de 9 años.**



Fuente: Archivo del Proyecto Características y Posibilidades de Mejoramiento del Sistema de Chaqueo.

**Figura 3. Trazado de la parcela.**

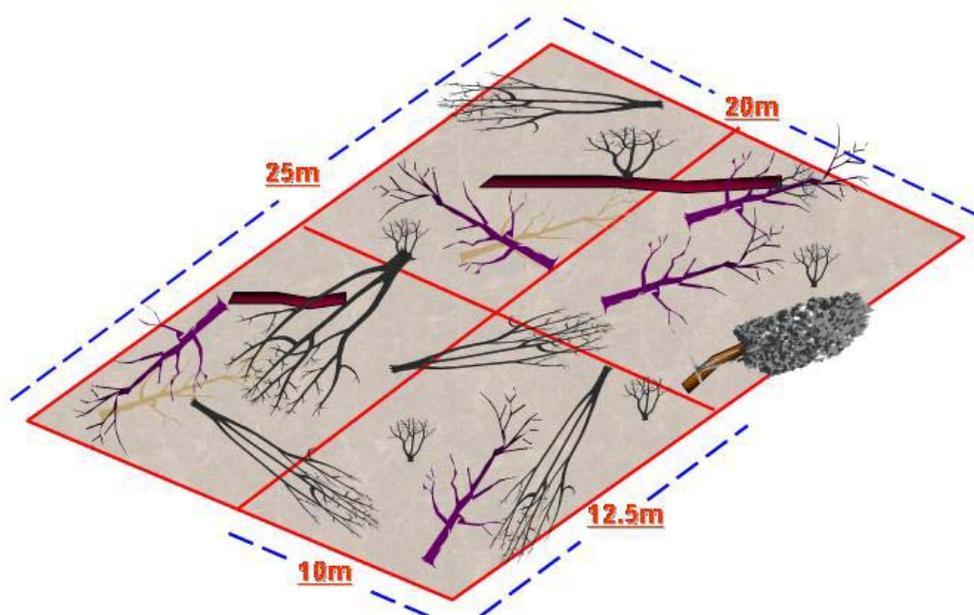


Los ángulos de la parcela se establecen midiendo a las estacas con brújula. Ej. De al 2ª a la 1ª se tiene un azimut de  $150^\circ$ , entonces la 3ª estaca se debe ubicar en un azimut de  $60^\circ$ , es decir  $150 - 90 = 60^\circ$

Fuente: Elaboración propia.

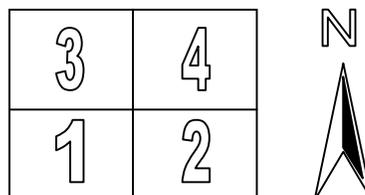
Al interior de la parcela principal se trazaron cuatro subparcelas de 125 m<sup>2</sup>, ubicando una estaca a 12,5 m en un sentido y al otro sentido 10 m (Figura 4), con el fin de facilitar el trabajo en campo y obtener mayor precisión en las estimaciones. Las dimensiones de la parcela se ajustaron por cambios en la pendiente para asegurar una superficie constante de 500 m<sup>2</sup>. La pendiente se midió con un nivel. Los cuadrantes se numeran con respecto al norte (Figura 5).

**Figura 4. Diseño parcela de muestreo.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5. Numeración de cuadrantes.**



Fuente: Elaboración propia.

**2.4.2 Medición de la necromasa.** Se realizaron mediciones de necromasa en diferentes edades de barbecho antes y después de realizada la quema de la vegetación, con el propósito de observar su acumulación través del tiempo. El material se clasificó en dos categorías: 1) Troncos con diámetro entre 1 y 5 cm y 2) Troncos con diámetro mayor a 5 cm.

Se colectó toda la necromasa presente en el suelo ya sea por senescencia natural o por prácticas de manejo agrícolas, el material recolectado se pesó en campo separadamente por cuadrante para explorar el efecto de la intensidad de muestreo sobre la precisión de las estimaciones y una muestra compuesta (200 gr) de peso fresco, por categoría, se llevó a laboratorio y se secó a 80°C hasta alcanzar peso constante.

**2.4.3 Materia seca.** Para la toma de estos datos se tuvo en cuenta el criterio de Pearsus<sup>99</sup>, donde se pesó cada muestra fresca con su respectiva identificación en una balanza y luego en laboratorio se llevó al horno a una temperatura de 80°C para la extracción de la totalidad del agua hasta alcanzar peso constante.

Se obtuvieron los datos de peso seco y necromasa de cada categoría diamétrica, para lo cual se utilizó la ecuación propuesta por Overman y Saldarriaga<sup>100</sup>. Los datos obtenidos por metro cuadrado por parcela, se extrapolaron a una hectárea.

$$Nso = \frac{Psm}{Pfm} \times Pfo$$

Donde:

**Nso** = Necromasa de cada categoría diamétrica (ramas entre 1–5 cm, troncos > a 5 cm)

**Psm** = peso seco de la muestra tomada de cada categoría

---

<sup>99</sup> PEARSUS, D. Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. Zaragoza, España: ACRIBIA, 1986. p. 19.

<sup>100</sup> OVERMAN, M. Y SALDARRIAGA, J. Evaluación de modelos de regresión. Amazonas, Colombia: Ecología Tropical, 1994. p. 22-35.

**Pfm** = peso fresco de la muestra

**Pfo** = peso fresco de la categoría diamétrica

## 2.5 CARBONO ACUMULADO EN LA NECROMASA

Para medir el almacenamiento de carbono (C) en barbechos antes y después de la quema, se utilizaron los datos de necromasa (N) para cada edad y el contenido de carbono en la misma (CC) (datos provenientes del Laboratorio de Análisis de Suelos, Tejido vegetal y Aguas del *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza* (CATIE), Turrialba, Costa Rica, determinado por el Método de Combustión en equipo auto-analizador *Thermofinnigan*) y se aplicó la siguiente fórmula:

$$C = N \times CC$$

## 2.6 MODELOS DE NECROMASA

A partir de los datos generados en campo, se modelaron ecuaciones de regresión que permitieron estimar la cantidad de necromasa que puede generar un sistema, relacionándola con la edad del barbecho e indirectamente la cantidad de carbono acumulado por este compartimiento. Para la construcción de los modelos de regresión, se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS Plus 5.0 con el que se probaron varios modelos (lineal, logarítmico, exponencial, cuadrático y multiplicativo), considerando la necromasa como variable dependiente y la edad como variable independiente.

**Selección y validación de los mejores modelos.** Para escoger los modelos de mejor ajuste, se tuvo en cuenta estadígrafos como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), error estándar de estimación o raíz del cuadrado medio del error y la suma de cuadrados del error así como la lógica biológica del modelo. Además se realizó la validación de las ecuaciones mediante una prueba de comparación de medias (Prueba de T) entre los valores predichos y los reales.

Una vez seleccionado el mejor modelo y obtenida la ecuación de ajuste, se realizó un análisis gráfico de los residuales estudentizados para detectar la presencia de normalidad en los errores y homogeneidad en las varianzas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ROZA, TUMBA Y QUEMA

**3.1.1 Agricultura migratoria y uso de la tierra en fincas de Alto Beni.** Los fenómenos migratorios inducidos o espontáneos que se han dado en los últimos años, tuvieron su origen en aquellas políticas de redistribución de la población de tierras altas a tierras bajas. Este aspecto es el incentivo para el avance de la frontera agrícola sin una adecuada política de utilización y manejo de los recursos naturales renovables.

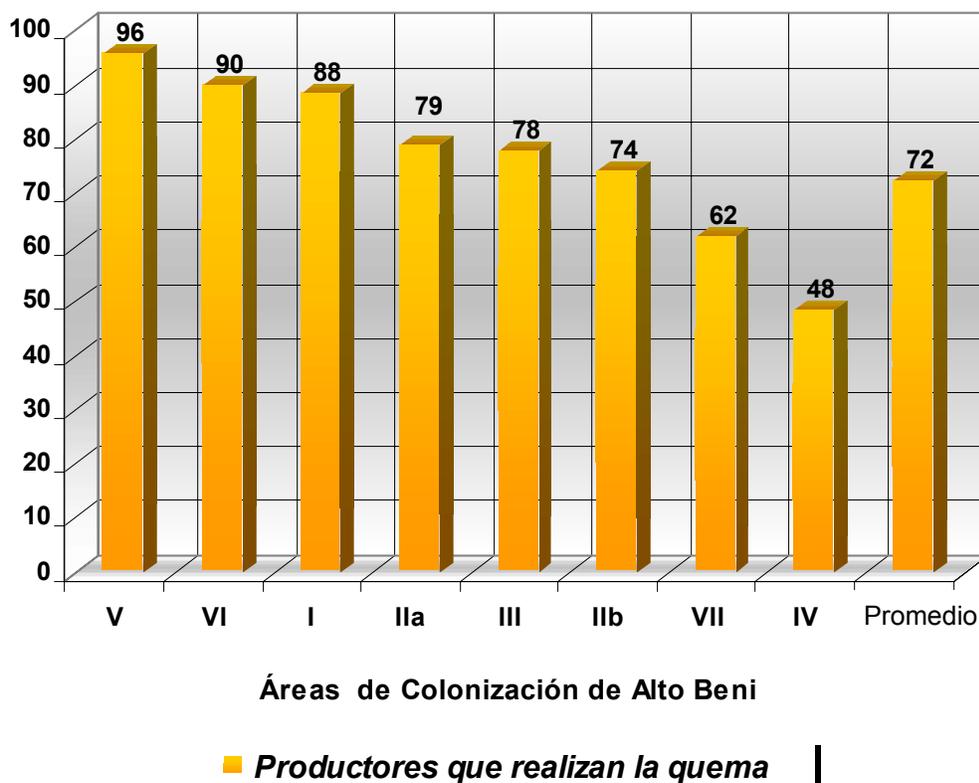
Sin duda alguna, la excesiva sobre valoración de los inagotables recursos naturales renovables existentes en las tierras bajas y una idea generalizada de que existe poca población en extensas superficies del país, ha llevado a cerca de medio millón de personas a migrar hacia tierras bajas.

La quema de vegetación en áreas tropicales del país tiene diversos propósitos, a saber: la introducción de cultivos industriales con una supuesta elevada rentabilidad y la habilitación de los pajonales como pastizales para la ganadería y la agricultura de subsistencia practicada por los colonizadores (habitantes de origen migratorio). La mayoría de los agricultores desconocen la capacidad de uso de sus suelos y no han tenido acceso a tecnologías apropiadas con orientación técnica idónea para mejorar la productividad de su tierra, en consecuencia tumban (cortan árboles) árboles del monte cada año para recuperar sus ingresos, sustituyendo así los espacios perdidos por la degradación y agotamiento de los suelos.

En Alto Beni, el 72% de los agricultores practica el sistema de roza, tumba y quema, con notables diferencias entre áreas de colonización (Figura 6). Por ejemplo, el Área V, una de las más recientes áreas de colonización donde los agricultores se dedican principalmente a la producción de granos, presentó el mayor porcentaje (96%). Por el contrario, el Área IV, una de las más desarrolladas económicamente en la cual se presenta una intensa producción de cultivos perennes, solo el 48% de los agricultores realizan la quema de sus barbechos; esto se debe a que estos productores compran el arroz con el efectivo generado por la producción y venta de sus cultivos perennes.

**Figura 6. Porcentaje de productores que practican el sistema de roza, tumba y quema por áreas de colonización en Alto Beni**

**%Productores**



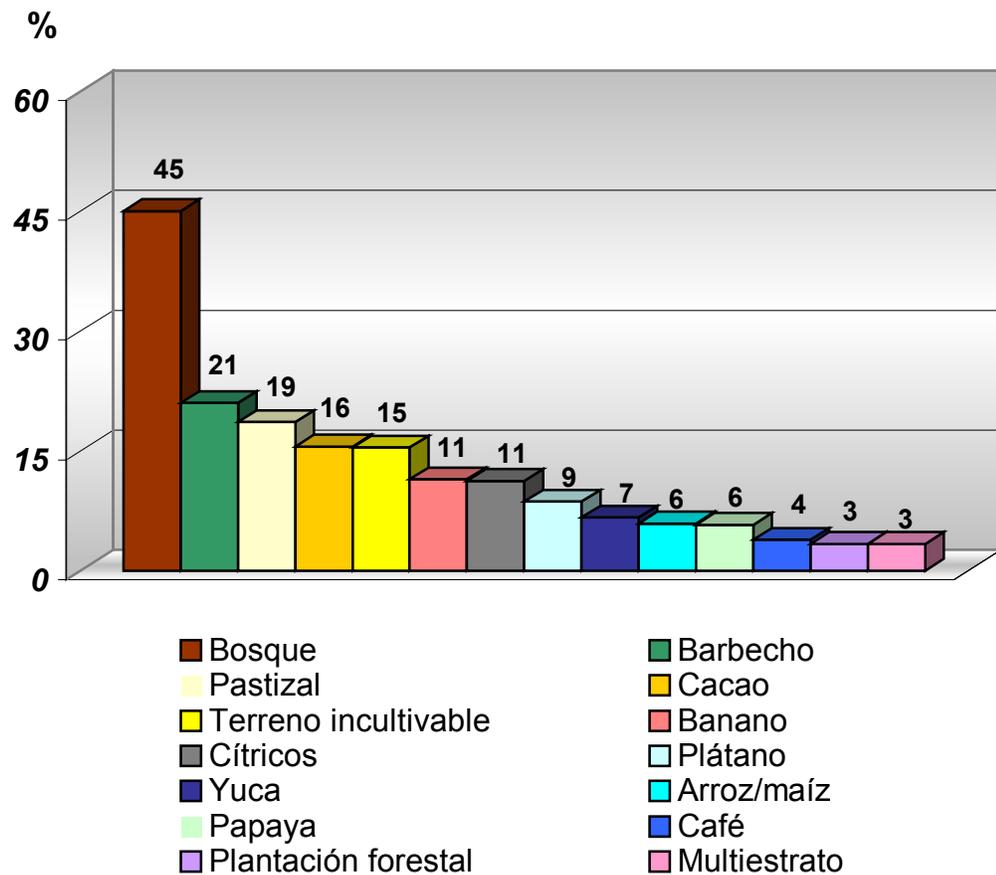
Fuente: Este estudio.

En la región, las fincas tienen una superficie promedio de 15 ha, sin embargo algunos productores tienen fincas de mayor o menor tamaño, razón por la cual se obtuvo un valor modal de 12 ha. Los datos obtenidos del diagnóstico indican que el 45% de la tierra en Alto Beni se encuentra bajo cobertura de bosque localmente llamado monte, el segundo uso en importancia lo representan los barbechos (21%), el 27% lo ocupan cultivos perennes (11% cítricos y 16% cacao), el 6% está dedicado a la producción de granos (arroz y maíz) y un 15% son áreas incultivables.

También se encontraron otros usos en menor proporción como banano (11%), plátano (9%), yuca (7%), papaya (6%), café (4%), plantaciones forestales (3%) y

sistemas multiestratos (3%). (Figura 7). La superficie promedio por finca cultivada con arroz y maíz es de 0.9 ha. Sin embargo, el 54% de las parcelas cultivadas tienen un tamaño menor a 0.5 ha; apenas un 8% de las parcelas de cultivo miden más de 1 ha (Figura 8).

**Figura 7. Diferentes usos de la tierra y porcentaje de ocupación en la zona de Alto Beni.**



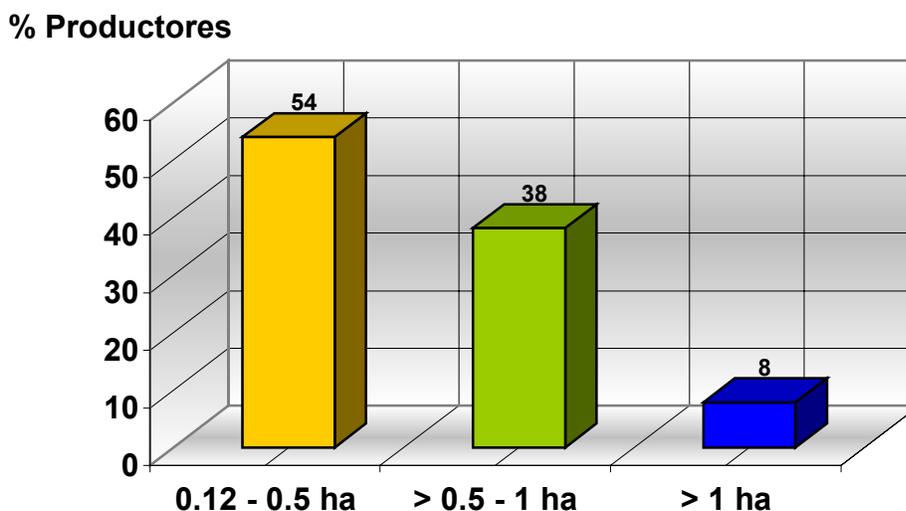
Fuente: Este estudio.

La expansión de los incendios en áreas forestales y de bosques naturales tiene como causa principal los “chaqueos<sup>101</sup>” no controlados realizados por las comunidades rurales e indígenas, que generalmente se realizan sin ningún

<sup>101</sup> Término utilizado en la zona para referirse a la tumba y quema de la vegetación.

permiso, debido a que por debajo de 5 hectáreas no se requiere permiso de desmote. De cualquier forma es claro que los agricultores no chaquean más de ésta área y como utilizan solo mano de obra familiar, ocasionalmente sobrepasan 1 ha.

**Figura 8. Porcentaje de superficies cultivadas con arroz y maíz en las fincas.**



Fuente: Este estudio.

**3.1.2 Proceso del sistema de roza, tumba y quema.** El sistema de agricultura migratoria en Alto Beni, es una técnica agrícola muy utilizada por mas del 72% de los habitantes de la zona, con el fin de habilitar terrenos para labores agrícolas, en este caso el principal objetivo es la preparación del terreno para la producción de granos de autoconsumo (arroz y maíz).

El ciclo de producción de arroz y maíz inicia con la roza, tumba y quema de los barbechos entre los meses de julio y septiembre, época de sequía en Alto Beni. Este proceso comprende diferentes etapas:

**3.1.2.1 Roza y tumba:** se realiza por lo general inmediatamente después de que el período de lluvias cese, y a comienzos de la época seca (julio y septiembre). Esta actividad representa ser una de las más costosas y complicadas a la hora de preparar la tierra. Cuando se realiza de forma manual, los productores emplean en promedio 21 jornales para la roza y tumba de la vegetación. En el diagnóstico

realizado, se encontró que otra forma muy común y frecuente para desmontar el bosque es la utilización de motosierra; en la mayoría de los casos los productores optan por alquilar el equipo, debido que representa una menor inversión de mano de obra y tiempo (2 jornales  $\text{ha}^{-1}$ ).

**3.1.2.2 Secado:** luego de la tala y el desmonte, se procede al secado de los rastrojos vegetales, por un período que varía entre 30 y 60 días.

**3.1.2.3 Quema:** una vez que los restos vegetales pierden humedad (+/- 85%), se procede a la quema. Se realiza generalmente en horas de alta incidencia solar, en algunos casos, se hace en horas nocturnas aprovechando la velocidad del viento. Si se realiza una buena combustión, habitualmente se emplea entre uno y dos jornales  $\text{ha}^{-1}$  en llevar a cabo esta práctica.

**3.1.2.4 Chalqueo:** ésta labor se realiza después de la quema con el propósito de recoger y seleccionar los residuos que se obtienen de una mala combustión; el productor realiza un proceso de clasificación de los residuos, la mayoría para ser aprovechados como leña y los resultantes para ser consumidos por el fuego nuevamente y así dejar el terreno limpio y listo para la siembra. Ésta labor requiere en promedio 2 jornales  $\text{ha}^{-1}$ .

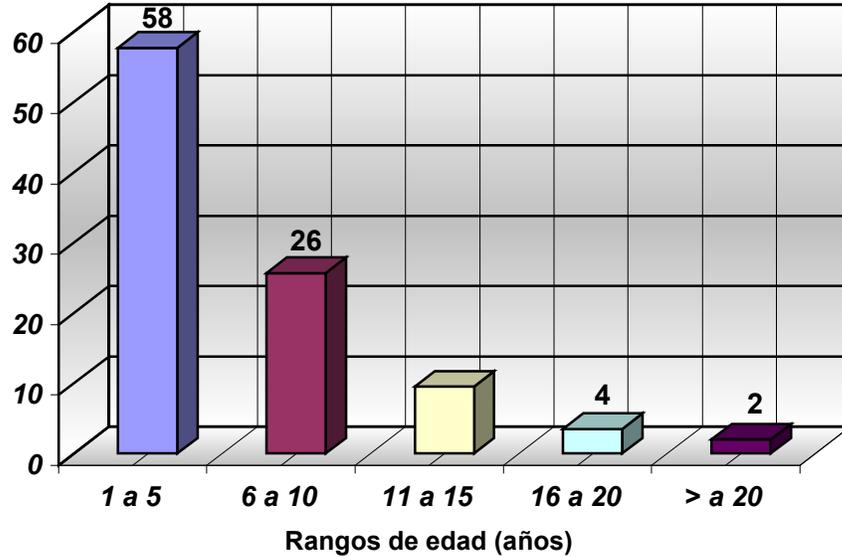
**3.1.2.5 Siembra:** inmediatamente después del chalqueo, se realiza la siembra del cultivo anual (arroz y/o maíz), en la cual los agricultores emplean en promedio 4 jornales para la siembra de 1 ha.

### **3.1.3 Características de los barbechos.**

Los barbechos se encuentran mayormente en el pie de monte, con pendientes entre 16-30%, cubren una superficie promedio por finca de 3 ha y tienen edades que varían entre 1-30 años; el 58% de los barbechos en la zona tienen actualmente entre 1 a 5 años de edad y en menor cantidad (2%) se encuentran barbechos mayores a 20 años (Figura 9).

Figura 9. Edades de barbecho.

% Barbechos

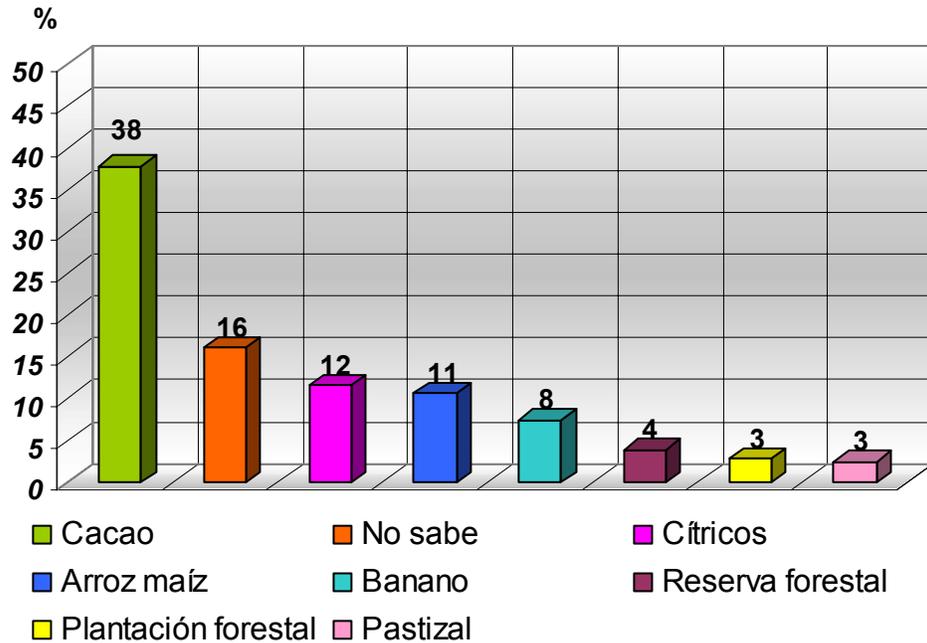


Fuente: Este estudio.

Según el análisis, la edad promedio de descanso de los barbechos es 5.8 ( $\pm 3.9$ ) años. El 58% de los barbechos y parcelas de arroz y maíz se destinarán para cacao, cítricos y banano; en el 11% de esas tierras se seguirá cultivando arroz y maíz (Figura 10).

El 80% de los productores no realiza actividades para mejorar los barbechos, aunque algunos conocen el valor de plantar Kudzú *Pueraria phaseoloides*, Mucuna *Stizolubium deringianum* y Glicine *Glycine javanica* para mejorar la fertilidad del suelo; pocos conocen especies leñosas mejoradoras de la fertilidad (con excepción de Pacay *Inga spp* y Ceibo *Erythrina poeppigiana*. Los agricultores obtienen del barbecho materiales para construcción (36%) y leña (29%); 29% de los productores no obtiene ningún beneficio del barbecho.

**Figura 10. Uso futuro de barbechos y parcelas de arroz y maíz.**



Fuente: Este estudio

La tala y quema de los barbechos para destinar suelos frágiles a la agricultura, si bien puede resultar económicamente rentable en un primer año, en los subsiguientes los rendimientos bajan al punto de quedar los suelos inhabilitados para la agricultura. Con este antecedente, los impactos negativos sobre los recursos naturales renovables, especialmente sobre la tierra, los bosques y la fauna son innumerables y la dimensión del daño es hasta el momento desproporcionada, en la relación a los escasos y momentáneos beneficios que los pequeños agricultores pueden lograr.

**3.1.4 Agronomía y manejo de los cultivos de Arroz *Oryza sativa* y Maíz *Zea mays*.** Las labores de cultivo comienzan en el mes de octubre con la siembra y se extienden hasta marzo (mes donde se realiza la cosecha del arroz) o hasta abril (cosecha del maíz) (Tabla 4). Alto Beni es una región productora de cacao, con un enfoque ecológico y orgánico, razón por la cual los productores no utilizan insumos químicos, fertilizantes o plaguicidas en sus cultivos. El arroz en esta zona se cultiva en condiciones de secano y su manejo es muy convencional.

**Tabla 4. Calendario agronómico de los cultivos de Arroz y Maíz para la zona de Alto Beni. Porcentajes de productores que realizan la actividad por mes.**

ACTIVIDAD	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Tumba/roza	17	50	20									
Quema		10	42	39								
Chalqueo		8	34	42								
Siembra arroz				60	28	5						
Siembra maíz			8	57	27							
1° Deshierbe					29	51	14					
2° Deshierbe							30	33				
Cosecha arroz								13	68	17		
Cosecha maíz								16	25	47		
Trilla								8	37	29		

Fuente: Este estudio.

Primero se inicia con la siembra del cultivo (arroz y/o maíz), seguido de uno (para maíz) o dos deshierbes (para el arroz) que generalmente se realizan entre los meses de noviembre a enero (1<sup>er</sup> deshierbe) y entre enero y febrero el segundo deshierbe, finalizando con la cosecha de los cultivos en el mes de marzo.

Según la información suministrada por los productores, en la zona existen muchas variedades de arroz y maíz que son producto de la hibridación de selecciones locales y variedades introducidas a la región desde la época de colonización, razón por la cual los rendimientos y las variedades han decaído en los últimos años. Las variedades de arroz más utilizadas son: estaquilla, carolina, cateto y noventón, las cuales según los agricultores se comportan mejor ante la presencia de enfermedades y plagas y presentan una mayor producción en comparación a las muchas existentes.

Para sembrar una hectárea de arroz se utilizan entre 11.5–23 Kg de semilla, se planta con la ayuda de una sembradora graduada que deposita entre 8 y 10

semillas por hoyo. Para el maíz, las variedades que mas se utilizan en la región fueron: cubano y chuncho y se emplean 2.5 – 11.5 Kg ha<sup>-1</sup> de semilla, plantado de forma manual usando una estaca con punta y depositando tres semillas por hoyo.

En el desarrollo de las actividades, se utiliza principalmente tracción humana e implementos agrícolas manuales. Las herramientas de habilitación de tierras y labranza empleados por los campesinos constan, entre otros, de hacha, machete, sembradora y motosierra, en función de sus posibilidades económicas.

El único insumo utilizado es la semilla, que normalmente proviene de la cosecha anterior. Entre las labores culturales se practica solamente el deshierbe, por lo que esta forma de producción agrícola se realiza con muy baja inversión de capital.

La Petilla *Tibraca limbativentris* (86% de los productores) en el arroz y los chanchos de monte (56%) en el maíz son las principales plagas que afectan a este cultivo; gusano cogollero (16%) *Spodoptera frujiperda* es una plaga importante en maíz, pero que no representan daños económicos significativos. No se reportaron enfermedades en el arroz, ni en el maíz. Los productores no realizan control de plagas ni enfermedades, quizás para mantener bajo su costo de producción.

La sequía (que afecta el llenado del grano), las plagas, la baja fertilidad del suelo, las malezas y la falta de asistencia técnica son las principales limitantes de la producción de arroz y maíz en Alto Beni. La producción de maíz (78%) se destina exclusivamente para la alimentación de los animales domésticos, en cambio, un 48% de la producción de arroz se vende; el resto se reserva para consumo familiar y como semilla para el siguiente ciclo de cultivo. Los granos se venden en el mercado local y nacional (Palos Blancos, Caranavi, Piquendo y La Paz).

**3.1.5 Rendimientos.** El rendimiento más frecuente de arroz en bruto o con cáscara es bajo (1564 Kg ha<sup>-1</sup>) (el rendimiento de arroz pelado es el 70% del arroz en bruto) y muestra amplias variaciones entre años (644-2488 Kg ha<sup>-1</sup>). La misma situación se presenta con maíz, con rendimientos promedio de 920 Kg ha<sup>-1</sup> y variaciones entre 414-1288 Kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 5). Los rendimientos registrados en el último año de cultivo, tanto en arroz como en maíz, fueron más bajos que los promedios, quizás indicando una condición desfavorable especial en ese año agrícola. Los resultados del diagnóstico confirman que las familias del Alto Beni consumen anualmente 690 Kg de arroz y 414 Kg de maíz, lo que significa que con los rendimientos actuales deben cultivar 0.63 ha para ser autosuficientes. Si consideramos una superficie promedio de cultivo de 0.5 ha por familia, es evidente

que la mayoría de los productores tienen que comprar arroz para completar el abastecimiento familiar.

**Tabla 5. Rendimientos de arroz en bruto (sin pelar) y de maíz en Kg ha<sup>-1</sup>**

Cultivo	Rendimientos	Promedio	Des. Est.	Moda	Máximo	Mínimo
<b>Arroz</b>	Última cosecha	1564	754.4	920	3312	138
	Máximo*	2484	814.2	2760	4600	920
	Mínimo*	644	552	460	2300	0
<b>Maíz</b>	Última cosecha	150	1223	460	3680	0
	Máximo*	1288	883.2	920	3680	230
	Mínimo*	414	418.6	460	1840	0

Fuente: Este estudio.

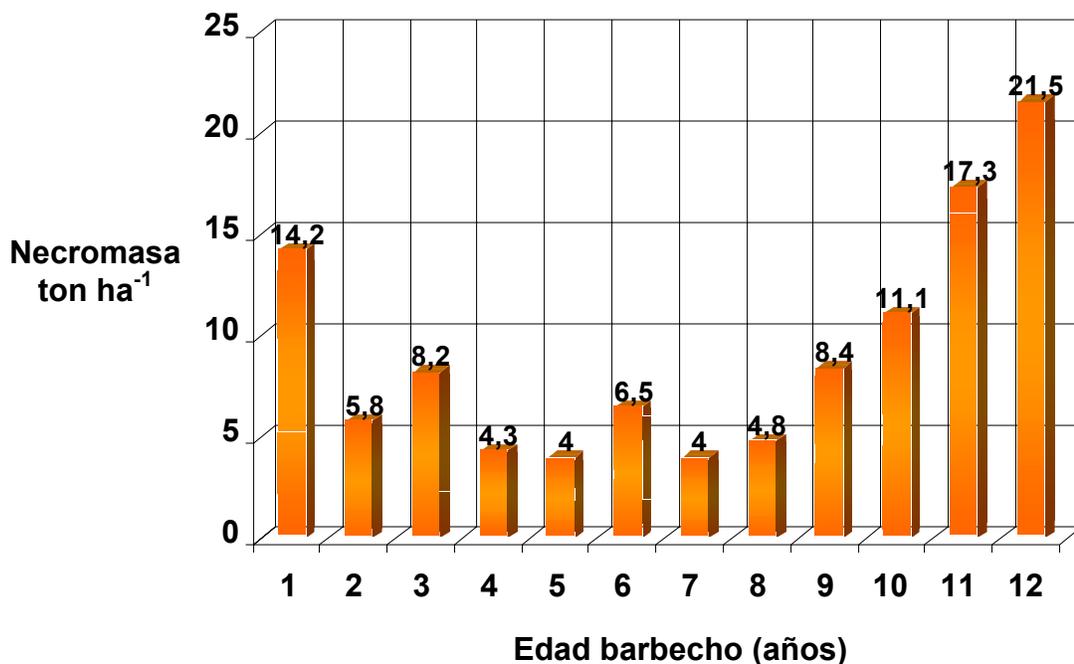
### 3.2 ACUMULACIÓN DE NECROMASA EN BARBECHOS ANTES DE LA QUEMA

Los estudios sobre acumulación de necromasa tienen como fin, entender los ciclos de la descomposición y cambios a medida que los barbechos envejecen. Con la información recolectada en cada parcela se cuantificó la cantidad de necromasa y carbono existente en los bosques secundarios de Alto Beni. Los datos obtenidos por metro cuadrado por parcela, se extrapolaron a una hectárea.

Cabe destacar la importancia que tiene la necromasa, componente que interviene en el ciclo de nutrientes a través de la descomposición incrementándose con la edad. Se puede afirmar que la mayor acumulación de necromasa sobre el suelo se encuentra en los barbechos de 12 años (21.5 ton ha<sup>-1</sup>), 11 años (17.3 ton ha<sup>-1</sup>) y 1 año de edad (14.2 ton ha<sup>-1</sup>), este último valor es alto debido que al momento de habilitar la tierra la vegetación anterior se encontraba en un rango de edad promedio de 8-12 años (Figura 11).

\* Rendimientos obtenidos de los últimos tres años de cultivo.

Figura 11. Gráfica de Necromasa total promedio en barbechos antes de la quema en la zona de Alto Beni.



Fuente: Este estudio.

En barbechos antes de la quema se encontró una acumulación promedio de 9.18 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, con un valor máximo de 21.5 ton ha<sup>-1</sup> y un valor mínimo de 4 ton ha<sup>-1</sup> siendo su desviación estándar igual a 5.75 en un total de 46 parcelas (Tabla 6). Herrera *et al* (2003)<sup>102</sup>, reportan valores de necromasa de 5.74 ton ha<sup>-1</sup> en bosques secundarios, otro estudio efectuado en bosques secundarios de Colombia por Orrego y Del Valle (2003)<sup>103</sup> reportan una acumulación de necromasa de 7.32 ton ha<sup>-1</sup> comparables a los obtenidos en este estudio.

<sup>102</sup> Herrera, Op. cit., p.161.

<sup>103</sup> Orrego, Op. cit., p. 229.

**Tabla 6. Necromasa promedio total acumulada en barbechos antes de la quema en la zona de Alto Beni. Los datos corresponden a valores observados.**

<b>Necromasa total en barbechos antes de la quema</b>	
	<b>ton/ha</b>
Promedio	9.18
Máximo	21,5
Mínimo	4
Varianza	13
Desviación estándar	5,75
Número de parcelas	46

Fuente: Este estudio.

Delaney *et al* (1998)<sup>104</sup>, reportan que la madera muerta en seis diferentes tipos de bosque natural en Venezuela, se encuentran en un rango entre 1-77 ton ha<sup>-1</sup>, con promedios de 6.6 ton ha<sup>-1</sup> en bosque secos en transición; 33.3 ton ha<sup>-1</sup> en bosque húmedo tropical y 42.3 ton ha<sup>-1</sup> en bosque húmedo montano bajo. Los bosques secundarios del área de estudio tienen en total 9.18 ton ha<sup>-1</sup> de madera muerta. Aún así el aporte de este material es significativo debido a la proporción que representa de la masa total, no incluirlo en la estimación de esta conllevaría a subestimar las existencias de carbono en los bosques. Actualmente se estudian las tasas de descomposición de la madera, de las cuales no se tiene aún resultados, pero que serán de gran utilidad para saber si este compartimento puede almacenar carbono por largos períodos de tiempo.

### **3.2.1 Carbono acumulado en barbechos antes de la quema**

Todos los datos de necromasa encontrados tienen su equivalencia en carbono, si este valor se multiplica por 44.75%. La cifra porcentual de carbono de la biomasa empleada para la necromasa difiere del 50% comúnmente aceptado por el IPCC<sup>105</sup>.

<sup>104</sup> Delaney, Op. Cit., p. 9.

<sup>105</sup> HOUGHTON, G., J. G. JENKINS AND J. J. EPHRAMES. 1990. Climate Change: the IPCC scientific assessment. Cambridge University Press, Cambridge.

La tasa de acumulación de carbono en barbechos antes de la quema resulta del producto entre la necromasa total y el contenido de carbono en este compartimiento (Tabla 7).

$$CA = N \times CC$$

**Donde:**

**CA** = Carbono acumulado  
**N** = Necromasa total  
**CC** = Contenido de Carbono

**Tabla 7. Contenido de carbono y carbono acumulado por edad en barbechos antes de la quema en la zona de Alto Beni.**

Edad	Necromasa ton/ha	Contenido de Carbono %	Carbono Acumulado ton /ha
1	14,2	45	6.39
2	5,8	46	2.66
3	8,2	45	3.69
4	4,3	47	2.02
5	4	46	1.84
6	6,5	47	3.05
7	4	47	1.88
8	4,8	46	2.20
9	8,4	46	3.86
10	11,1	46	5.10
11	17,3	46	7.95
12	21,5	43	9.24

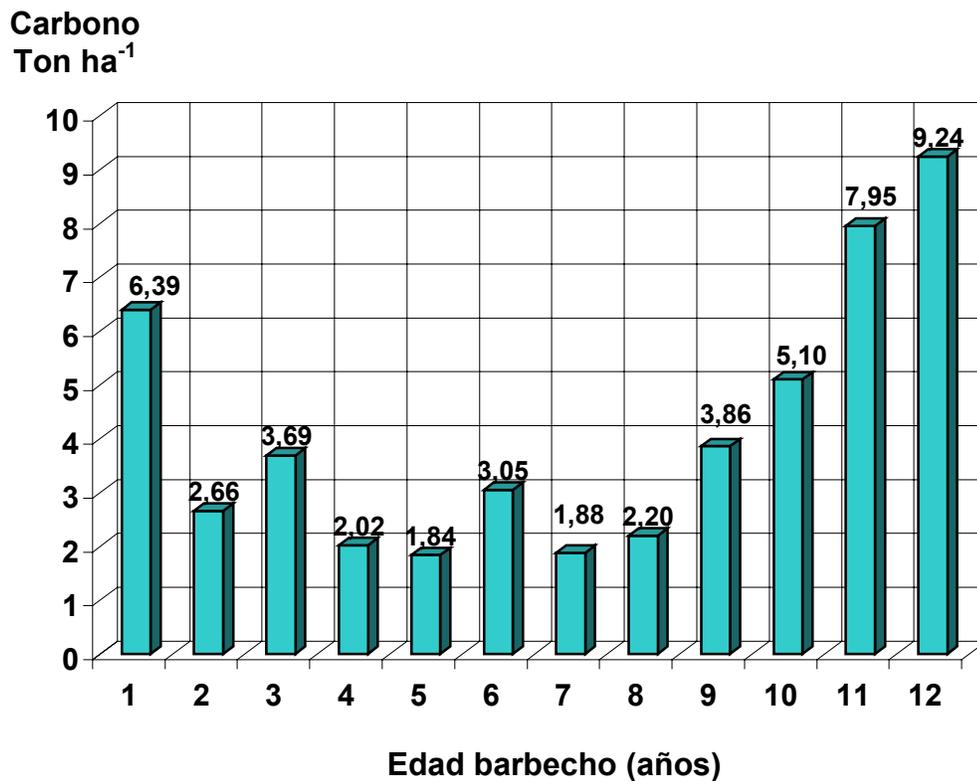
Fuente: Este estudio.

El contenido de carbono promedio en la necromasa fue de 45.83% variando entre 43-47% estos datos son similares al estudio realizado en México donde el C promedio es 46.6%<sup>106</sup>. En la necromasa se evidenció una tendencia al decrecimiento del CC asociado con el grado de descomposición.

<sup>106</sup> Hughes, R et al. Biomass, carbon and nutrient dynamics of secondary forests in humid tropical region of Mexico. En: Ecology. Vol. 80 (1999); p.1892 – 1907.

En este estudio se encontró que la tasa de acumulación de carbono promedio es de  $4.5 \text{ ton ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , la mayor acumulación se presentó a la edad de 12 años ( $9.24 \text{ ton ha}^{-1}$ ) y el valor mínimo ( $1.88 \text{ ton ha}^{-1}$ ) fue a la edad de 7 años (Figura 12).

**Figura 12. Gráfica de Carbono total acumulado en la necromasa en barbechos antes de la quema en la zona de Alto Beni.**



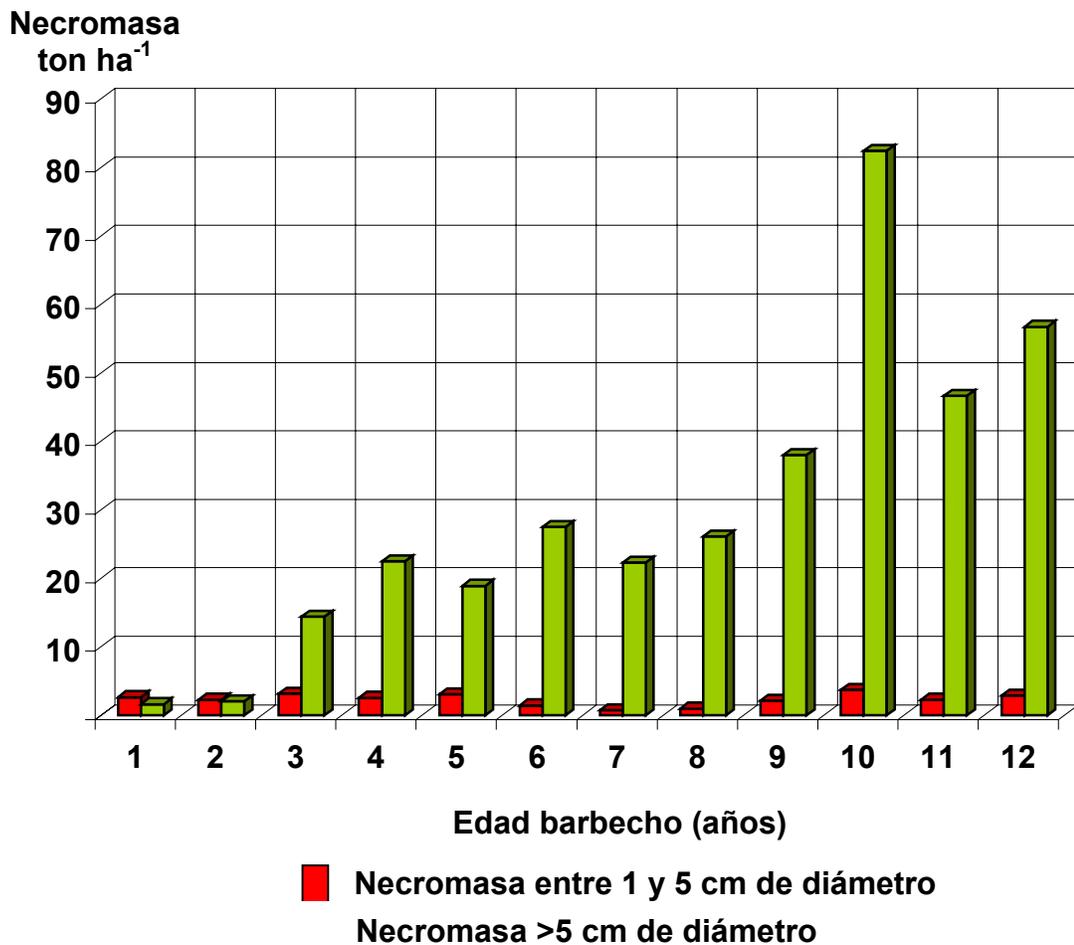
Fuente: Este estudio.

En las primeras edades de barbecho, observamos que no existe una variación muy amplia entre la cantidad de carbono acumulado para cada una de ellas, pero a medida que el barbecho envejece, se observa una tendencia de incremento a partir de los 9 años de edad hasta alcanzar un valor máximo de  $9.24 \text{ ton ha}^{-1}$ .

### 3.3 ACUMULACIÓN DE NECROMASA EN BARBECHOS DESPUÉS DE LA QUEMA

En la Figura 13 se muestra la acumulación de necromasa entre 1 y 5 cm y mayor a 5 cm de diámetro; se puede observar que los valores para necromasa entre 1 y 5 no tienen una diferencia significativa entre las edades, la mayor acumulación se presenta a los 10 años de edad con  $3.71 \text{ ton ha}^{-1}$ , la mínima acumulación a los 7 años ( $0.75 \text{ ton ha}^{-1}$ ) y un promedio entre edades de  $2.32 \text{ ton ha}^{-1}$ , la necromasa se estabiliza muy rápido y no es luego afectada por la edad. Su duración es efímera por cuanto tienen una vida media corta debido al proceso de descomposición.

Figura 13. Gráfica de necromasa total promedio por categorías en barbechos después de la quema en la zona de Alto Beni.



Fuente: Este estudio.

Con respecto a la categoría de diámetro mayor a 5 cm, se encontró una máxima acumulación a los 10 años de edad (82.4 ton ha<sup>-1</sup>), con una acumulación promedio de 29.92 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y un valor mínimo de 1.59 ton ha<sup>-1</sup> a la edad de 1 año.

En los barbechos después de la quema la mayor cantidad de necromasa se presentó a los 10 años de edad (86.16 ton ha<sup>-1</sup>). En promedio se obtuvo una acumulación de necromasa de 32.24 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y una mínima a la edad de 1 año (4.23 ton ha<sup>-1</sup>). Se puede afirmar que la mayor cantidad de necromasa es producida por los troncos (necromasa >5cm de diámetro), esto es debido a que durante la combustión, se quema fácilmente el material de diámetro menor, mientras que la vegetación de mayor tamaño no se quema en su totalidad. Con lo anterior se concluye que la cantidad acumulada de necromasa en los barbechos es dependiente de la edad.

### 3.3.1 Carbono acumulado en barbechos después de la quema

El contenido de carbono promedio en la necromasa entre 1 y 5 cm de diámetro fue igual a 47%, variando entre 46 y 49%. En los troncos mayores a 5 cm, el contenido de carbono promedio fue de 48%, variando entre 46 y 50%. En las dos categorías no se observan diferencias significativas entre las edades (Tabla 8).

**Tabla 8. Contenido de carbono y carbono acumulado por categorías.**

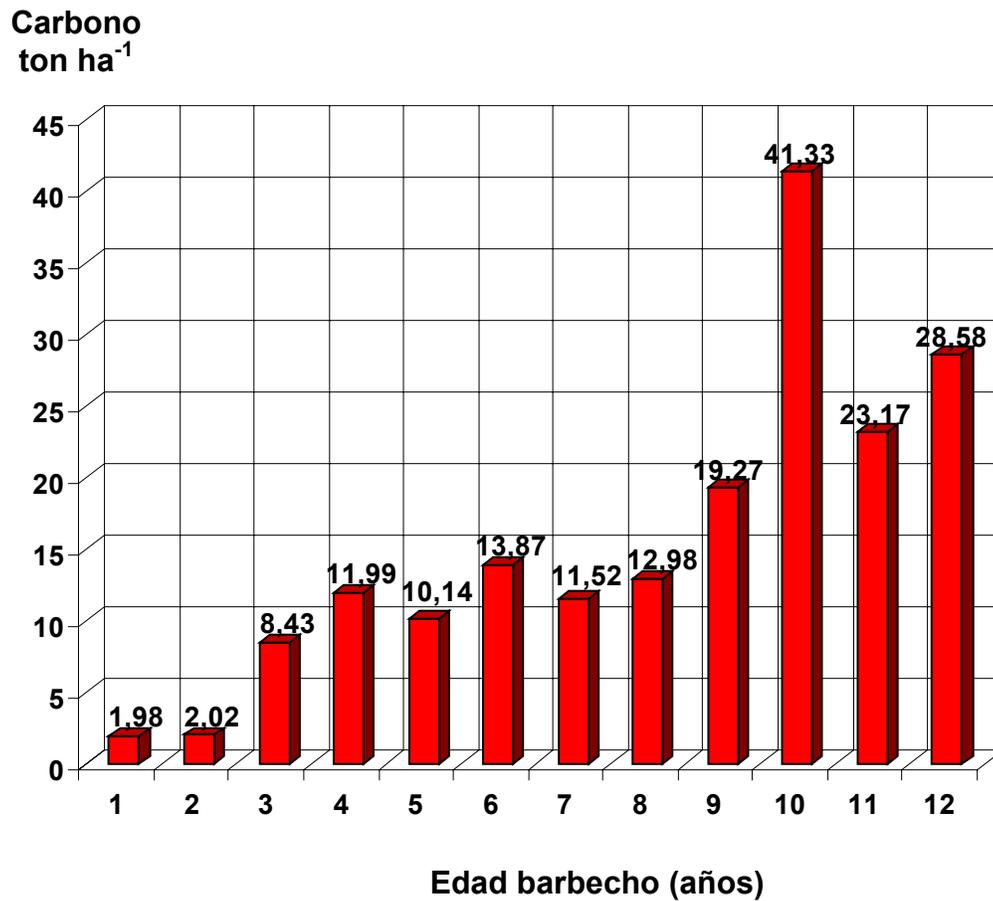
Edad	Necromasa entre 1 y 5 cm de diámetro	CC %	CA	Necromasa >5 cm de diámetro	CC %	CA
1	2,64	47	1.24	1,6	46	0.73
2	2,26	48	1.08	2	47	0.94
3	3,17	48	1.52	14,4	48	6.91
4	2,53	47	1.18	22,5	48	10.80
5	3,08	47	1.44	18,9	46	8.69
6	1,42	47	0.66	27,5	48	13.20
7	0,75	49	0.36	22,3	50	11.15
8	0,95	48	0.45	26,1	48	12.52
9	2,15	48	1.03	38	48	18.24
10	3,71	48	1.78	82,4	48	39.55
11	2,27	46	1.04	46,1	48	22.12
12	2,85	48	1.36	56,7	48	27.21

**CC:** contenido de carbono; **CA:** carbono acumulado

Fuente: Este estudio.

La figura 14 muestra la acumulación de carbono en la necromasa a través del tiempo, llegando a su máximo valor a los 10 años de barbecho (41.33 ton ha<sup>-1</sup>), en menor cantidad se encuentra a la edad de 1 año (1.97 ton ha<sup>-1</sup>) y el promedio acumulado por edad es de 15.44 ton ha<sup>-1</sup> al año.

**Figura 14. Gráfica de Carbono total acumulado en la necromasa en barbechos después de la quema en la zona de alto Beni.**



Fuente: Este estudio.

### 3.4 MODELOS DE NECROMASA

#### 3.4.1 Necromasa en barbechos antes de la quema

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis estadístico para encontrar modelos que combinaran las variables y que fueran válidos para predecir la necromasa acumulada en los barbechos antes de la quema.

Se corrieron modelos buscando un alto valor de coeficiente de determinación ( $R^2$ ), bajo cuadrado medio del error (CME) y significancia o aporte de cada variable dentro del modelo. Cuatro modelos y sus ajustes se presentan en la tabla 9 junto con los principales estadísticos obtenidos. Uno de esos modelos presenta transformación logarítmica. (Anexos 2, 3, 4, 5)

Al realizar el ajuste de los modelos, se encontró problemas de normalidad de los errores (residuos) y aumento en las varianzas a medida que la edad avanzaba (heteroscedasticidad). Por esta razón, se linealizaron las variables para satisfacer el supuesto de normalidad de los modelos de regresión. Para la necromasa medida en barbechos antes de la quema, la variable edad no resultó ser buena predictora, los modelos con sus coeficientes de regresión, resultaron ser no significativos.

**Tabla 9. Comparación entre modelos para necromasa total en barbechos antes de la quema.**

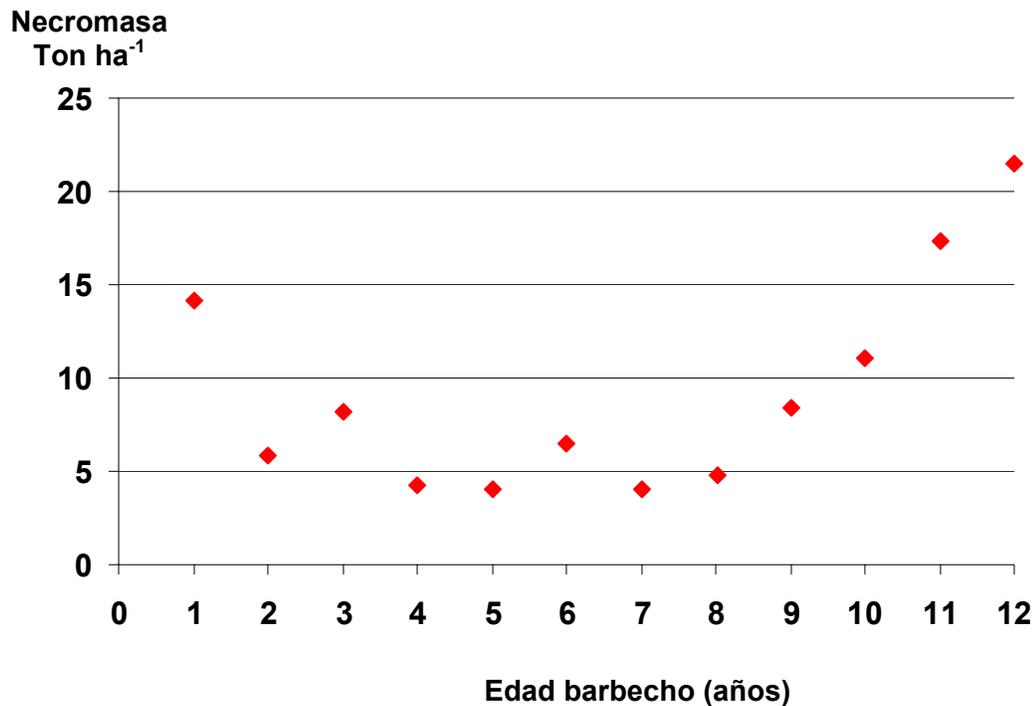
MODELO	a	b	$R^2$	CME	EE	n
Lineal $y = a+bx$ $y = 4,6359 + 0,6537*(edad)$	a = 4,63592	b = 0,653799	6,23	5,94	8,71	46
Exponencial $y = \exp(a+b*x)$ $y = \exp(1,225118 + 0,0841008*edad)$	a = 1,225118	b = 0,0841008	9,39	0,68	0,89	46
Doble recíproco $y = 1/(a+b/x)$ $y = 1/(0,179637 + 0,315461/edad)$	a = 0,179637	b = 0,315461	8,23	0,17	0,27	46
Modelo exponencial linealizado $y = ax^b$ $\ln y = 1,34287 + 0,251665*\ln edad$	a = 1,34287	b = 0,251665	3,86	0,7	0,92	46

Y: Necromasa total en Ton; X: Edad en años; a y b: coeficientes de regresión;  $R^2$ : Coeficiente de determinación; CME: Raíz del cuadrado medio del error; EE: Error estándar de estimación; n: Tamaño de la muestra.

**Fuente:** Este estudio.

En la figura 15 se observa que después de la tumba y quema de la vegetación, la necromasa en el barbecho rápidamente se estabiliza en forma independiente de la edad hasta los 8 años. La acumulación de necromasa a medida que aumenta la edad de los barbechos del área de estudio presenta un comportamiento creciente.

**Figura 15. Gráfica de dispersión para necromasa vs edad en barbechos antes de la quema.**



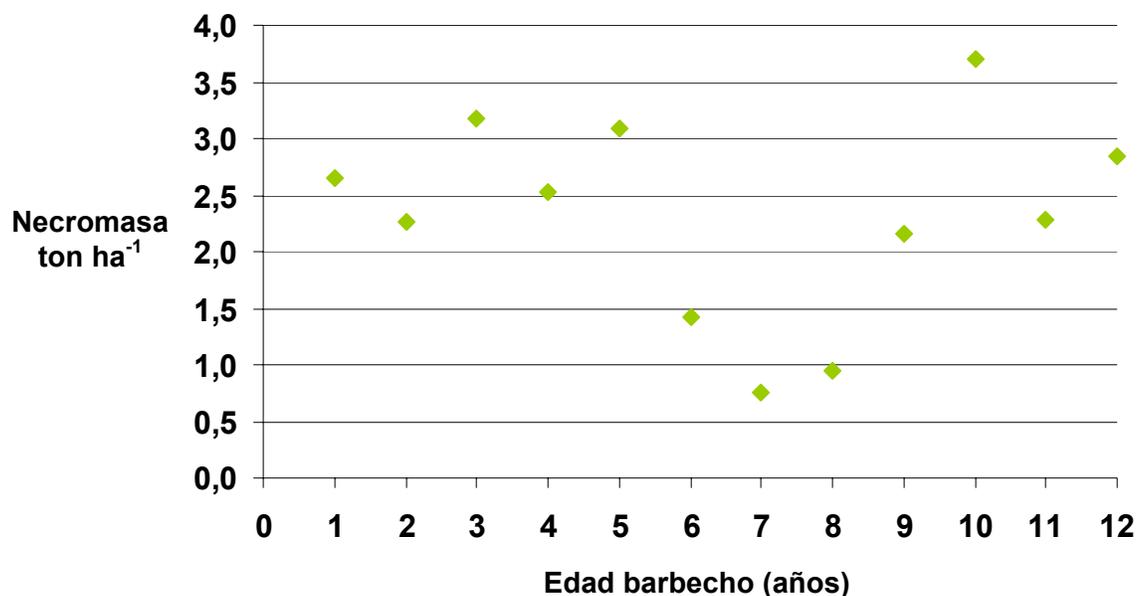
Fuente: Este estudio.

### 3.4.2 Necromasa en barbechos después de la quema

#### 3.4.2.1 Necromasa entre 1 y 5 cm de diámetro

De la figura 16 se puede afirmar que la necromasa después de la quema de la vegetación se estabiliza muy rápido y posteriormente no es afectada por la edad. Por lo tanto al realizar el análisis de los modelos estos no arrojaron buenos resultados y fueron no significativos (Anexos 6, 7, 8).

**Figura 16. Gráfica de dispersión para necromasa vs edad entre 1 y 5 cm de diámetro después de la quema.**



**Fuente:** Este estudio.

En la tabla 10 se presentan tres modelos y sus ajustes con los principales estadísticos obtenidos. Uno de esos modelos presenta transformación logarítmica. Se buscaba que los modelos presenten un alto valor de coeficiente de determinación ( $R^2$ ), bajo cuadrado medio del error (CME) y que haya significancia de las variables dentro del modelo.

**Tabla 10. Comparación entre modelos para necromasa entre 1 y 5 cm de diámetro**

MODELOS	a	b	$R^2$	CME	EE	N
Doble recíproco $y = 1/(a+b/x)$ $y = 1/(0,63124 + 0,40999/edad)$	a = 0,631242	b = 0,409999	5,36	0,39	0,46	24
Inverso $Y y = 1/(a+b*x)$ $y = 1/(0,907139 + -0,002663*edad)$	a = 0,907139	b = -0,002663	3,86	0,40	0,46	24
Modelo exponencial linealizado $y = ax^b$ $ln y = 0,323823 + 0,129164*ln edad$	a = 0,323823	b = 0,129164	1,63	0,64	0,75	24

Y: Necromasa total en Ton; X: Edad en años; a y b: coeficientes de regresión;  $R^2$ : Coeficiente de determinación; CME: Raíz del cuadrado medio del error; EE: Error estándar de estimación; n: Tamaño de la muestra.

**Fuente:** Este estudio.

### 3.4.2.2 Necromasa en barbechos mayor a 5 cm de diámetro

En este caso se seleccionaron los modelos que combinaran alto valor de coeficiente de determinación ( $R^2$ ), bajo cuadrado medio del error (CME), igualmente se tuvo en cuenta la significancia o aporte de cada variable dentro del modelo con base en la prueba t para cada una de ellas. Los tres modelos con mejores ajustes se presentan en la tabla 11 junto con los principales estadísticos obtenidos. Uno de esos modelos presenta transformación logarítmica (Anexos 9, 10).

Después de probar varios modelos de regresión, se considero que el modelo que mejor predijo la acumulación de necromasa en los barbechos fue de tipo exponencial linealizado, en el cual la variable dependiente (y) es la necromasa y la variable independiente (x) es la edad.

**Tabla 11. Comparación entre modelos para necromasa mayor a 5 cm de diámetro.**

MODELOS	a	b	$R^2$	CME	EE	N
Raíz cuadrada $y = (a+b*x)^2$ $y = 1,00745 + 0,597269*edad)^2$	a = 1,00745	b = 0,597269	70,67	1,01	1,39	24
Lineal $y = a+b*x$ $y = -5,92977 + 5,516112*(edad)$	a = -5,92977	b = 5,51612	62,12	10,86	15,53	24
Modelo exponencial linealizado $y = ax^b$ $lny = 1,0536 + 1,19054*ln\ edad$	a = 1,0536	b = 1,19054	73,62	0,36	0,47	24

Y: Necromasa total en Ton; X: Edad en años; a y b: coeficientes de regresión;  $R^2$ : Coeficiente de determinación; CME: Raíz del cuadrado medio del error; EE: Error estándar de estimación; n: Tamaño de la muestra.

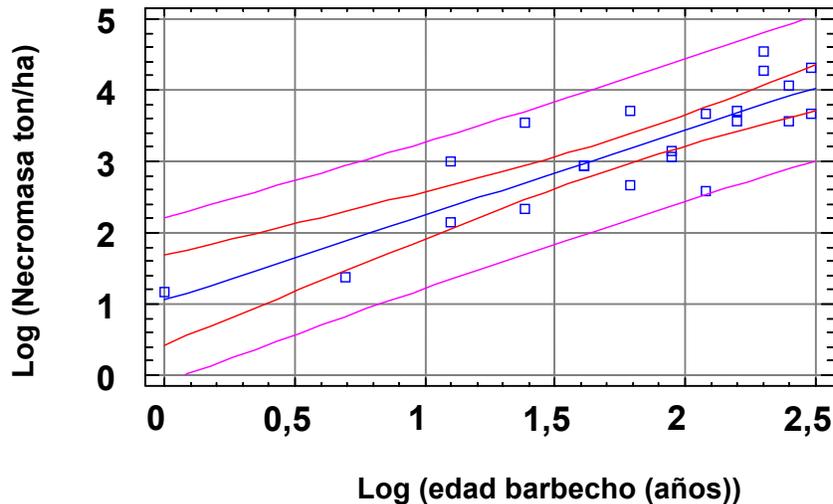
**Fuente:** Este estudio

A continuación se presenta los resultados del modelo exponencial linealizado con su respectivo análisis de varianza para estimar la necromasa mayor a 5 cm de diámetro en barbechos después de la quema.

Al graficar los residuales estudentizados, se comprobó que el modelo escogido no presentaba heteroscedasticidad y que la tendencia de los residuos, de acuerdo al histograma de frecuencias, era normal.

La figura 17 muestra la línea ajustada al modelo alométrico con transformación logarítmica de la variable necromasa vs edad. El valor de probabilidad (0.000) en el análisis de varianza indicó una relación estadísticamente significativa entre necromasa mayor a 5 cm de diámetro y edad del barbecho, el estadístico  $R^2$  indica que el modelo explica el 73.62% de la variabilidad. El coeficiente de correlación es igual 0.85 indicando una fuerte relación entre las variables. El error estándar de la estimación mostró la desviación típica de los residuos de 0.46. El modelo se ajustó con 24 datos (Anexo 11).

**Figura 17. Gráfica del modelo exponencial linealizado de la forma  $\ln y = 1.0536 + 1.19054 * \ln(\text{edad})$ , ajustado por regresión para la relación de necromasa > 5 vs edad**



En la validación, se encontró que el modelo es bueno, ya que no hubo diferencia significativa entre la necromasa observada y la necromasa esperada. La prueba de T, presentó un valor p de 0,45 mayor a 0,05 encontrándose que no existían diferencias significativas entre las medias de los valores observados y los predichos a un nivel de confianza del 95% (Anexo 12).

### 3.4.2.3 Necromasa total en barbechos después de la quema

Los cuatro modelos con mejores ajustes se presentan en la tabla 12 junto con los principales estadígrafos obtenidos. Uno de esos modelos presenta transformación logarítmica (Anexos 13, 14, 15).

**Tabla 12. Comparación entre modelos para necromasa total en barbechos después de la quema.**

MODELOS	a	b	R <sup>2</sup>	CME	EE	N
Lineal $y = a+b*x$ $y = 0,001291 + 0,272068*(edad)$	a = 0,001291	b = 0,272068	77,14	0,02	0,04	24
Doble recíproco $y = 1/(a+b/x)$ $y = 1/(1,62838 + 0,228498/edad)$	a = 1,62838	b = 0,228498	70,68	0,40	0,53	24
Exponencial $y = \exp(a+b*x)$ $y = \exp(-3,5481 + 5,50629*edad)$	a = -3,5481	b = 5,50629	59,20	11,53	16,48	24
Modelo exponencial linealizado $y = ax^b$ $\ln y = 1,22423 + 1,13436*\ln edad$	a = 1,22423	b = 1,13436	76,55	0,38	0,47	24

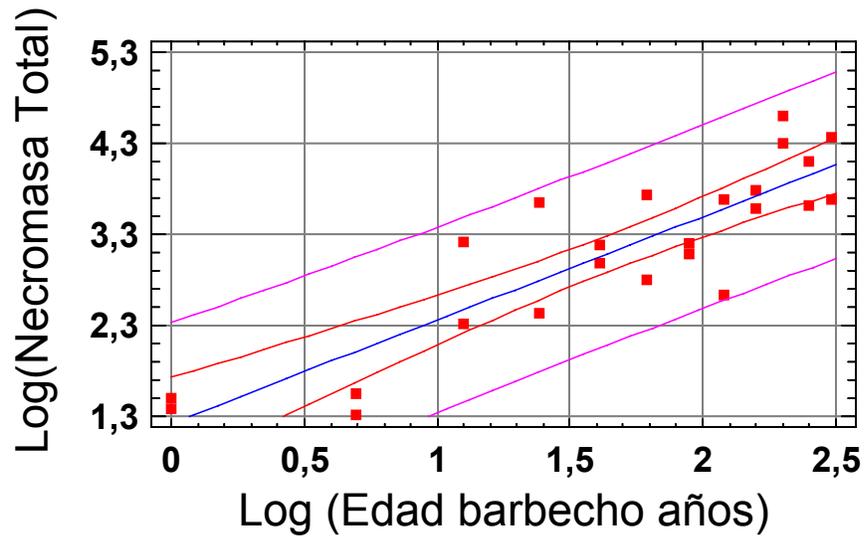
Y: Necromasa total en Ton; X: Edad en años; a y b: coeficientes de regresión; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; CME: Raíz del cuadrado medio del error; EE: Error estándar de estimación; n: Tamaño de la muestra.

**Fuente:** Este estudio

A continuación se presenta los resultados del modelo alométrico linealizado con su respectivo análisis de varianza para estimar la necromasa total en barbechos después de la quema.

En la figura 18 se muestra la línea ajustada al modelo alométrico con transformación logarítmica de la variable necromasa vs edad. El valor de probabilidad (0.000) en el análisis de varianza indicó una relación estadísticamente significativa entre necromasa total y edad del barbecho, el estadístico R<sup>2</sup> indica que el modelo explica el 76.54% de la variabilidad. El coeficiente de correlación es igual 0.87 indicando una fuerte relación entre las variables. El error estándar de la estimación mostró la desviación típica de los residuos de 0.47. El modelo se ajustó con 24 datos (Anexo 16)

Figura 18. Gráfica del modelo exponencial linealizado de la forma  $\ln y = 1.22423 + 1.13436 * \ln (\text{edad})$ , ajustado por regresión para la relación de necromasa total vs edad.



La validación del modelo se realizó, comparando las medias de los valores reales frente a las medias de los valores estimados, mediante una prueba de T. El P-valor obtenido en esta prueba para la ecuación resultó ser no significativo ( $p > 0,05$ ), no se presentaron diferencias significativas entre las medias comparadas y el modelo escogido no subestima ni sobreestima la necromasa de los barbechos en función de la edad (Anexo 17).

#### 4. CONCLUSIONES

En Alto Beni, el sistema de roza, tumba y quema, es el único sistema de habilitación de tierras para la producción agrícola, lo cual se convierte en un recurso tradicional difícilmente sustituible por la mayoría de los colonos. La tala y quema de los bosques para destinar suelos a la agricultura, si bien puede resultar económicamente rentable en un primer año, en los subsiguientes los rendimientos bajan al punto de quedar suelos inhabilitados.

El principal objetivo del sistema de agricultura migratoria es la habilitación de tierras para la producción de arroz y maíz. Debido a la carencia de opciones tecnológicas y económicas, los rendimientos de los granos en la región son bajos (arroz 1564 Kg ha<sup>-1</sup> en bruto, maíz 920 Kg ha<sup>-1</sup>) a causa del mal manejo, la utilización de semillas que han sido el resultado de un proceso de hibridación de variedades a través del tiempo y a las exigentes condiciones climáticas de la zona (sequía).

La mayoría de los productores cultivan arroz y maíz solo para su consumo, debido a que los costos de producción son elevados y la superficie que cultivan (0.5 ha) no produce lo necesario; un porcentaje de ellos lo venden y no obtienen ganancias, solo alcanzan a recuperar parte de su inversión.

En Alto Beni, la edad promedio de descanso de los barbechos es de 5.8 años y el 58% de ellos tienen actualmente entre 1 a 5 años de edad, lo que nos indica que estos bosques se encuentran potencialmente listos para ser quemados y así dar comienzo a una nueva fase agrícola.

Los resultados de los análisis de regresión de las ecuaciones de necromasa en barbechos después de la quema indican que se obtienen mejores estimaciones de la necromasa total cuando se ajustan modelos por rangos de tamaño.

El modelo estimado para necromasa muestra como a medida que el bosque alcanza su madurez, aumenta la cantidad de este material. Este compartimento contiene una cantidad significativa de carbono y su medición tiene un costo relativamente alto, pero no medirlo puede llevar a subestimaciones en proyectos comerciales de captura de carbono.

Los resultados obtenidos son de difícil comparación con otras investigaciones, debido a que no se encuentra información disponible en la literatura acerca de este compartimiento.

En barbechos antes de la quema se encontró una acumulación promedio por año de 9.18 ton/ha, con un valor máximo de 21.5 ton/ha a la edad de 12 años y una mínima acumulación de 4 ton/ha a los 7 años de edad en 46 parcelas y en barbechos después de la quema se presenta una mayor acumulación promedio por año 32.24 ton/ha, con un valor máximo a los 10 años de edad (86.16 ton/ha) y un valor mínimo de 4.23 ton/ha a un año de edad en 24 parcelas.

En los barbechos después de la quema la mayor cantidad de necromasa es producida por los troncos (necromasa > 5 cm de diámetro) debido a que durante la combustión se quema fácilmente el material de diámetro menor, mientras que la vegetación de mayor tamaño no se quema en su totalidad.

Se encontró una mayor tasa de acumulación de carbono total promedio por año en la necromasa en barbechos después de la quema de 15.44 ton/ha mientras que en barbechos antes de la quema la acumulación de carbono total promedio es menor 4.5 ton/ha/año, debido a que la necromasa presenta un mayor grado de descomposición.

El contenido de carbono promedio en la necromasa en barbechos antes de la quema fue de 45.83 variando entre 43-47%, se evidenció una tendencia al decrecimiento de este contenido asociado con el grado de descomposición y en barbechos después de la quema el contenido de carbono promedio es de 47.5 con variaciones de 46 y 50%. En las dos categorías no se observan diferencias significativas entre las edades.

El mejor modelo para explicar el comportamiento de la necromasa y por ende de carbono en barbechos después de la quema, con la edad como variable predictora, fue el modelo alométrico linealizado de la forma  $\ln \text{Necromasa} = 1.22423 + 1.13436 * \ln(\text{edad})$ . La validación del modelo demostró que no hubo diferencia significativa entre la necromasa observada y la necromasa esperada en barbechos después de la quema.

## 6. RECOMENDACIONES

Una selección de época óptima de siembra y uso de variedades de arroz resistentes a sequía o con diferente duración del ciclo de cultivo podrían minimizar problemas de sequía y de plagas.

Se recomienda en futuros estudios sobre acumulación de necromasa en bosques secundarios, utilizar variables de mayor confiabilidad, en donde la edad no sea el único factor determinante al momento de realizar el análisis o las estimaciones.

En la zona de Alto Beni, la principal amenaza es la tendencia a disminuir el período de barbecho y a incrementar el uso del suelo, por tanto se recomienda investigar e implementar alternativas tecnológicas adaptadas a las condiciones locales que permitan elevar la tasa de acumulación de nutrientes en los barbechos y reducir el período de descanso en forma sostenible.

Este compartimiento debe ser estudiado y analizado en diferentes tipos de sistemas y vegetación, para determinar su potencialidad al momento de cuantificar existencias de carbono dentro de un sistema.

Se recomienda realizar cuantificaciones de necromasa y carbono en diferentes y semejantes ecosistemas a los evaluados en este estudio, con el fin de estimar el potencial de carbono contenido en los mismos.

Podría incluirse el pago por servicios ambientales de almacenamiento de carbono para bosques secundarios, tomando en consideración el aporte de carbono brindado por los árboles, ya que estos representan reservorios de carbono.

## BIBLIOGRAFÍA

Agricultura Migratoria. [en línea]. [citado en 2005-06-20]. Disponible en Internet: [http://www.areas-prottegidas.org./tala\\_y\\_quema.php](http://www.areas-prottegidas.org./tala_y_quema.php).html.

ALEGRE, J. y ARÉVALO, L. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonía peruana. [en línea]. Yurimaguas (Perú). ICRAF, Julio 20 de 2000. [citado en 2005-05-18]. Disponible en Internet: <http://www.fao/WAICENT/FAOINF/AG/AGAP/FRG/español/document/boterusso/18htm-25K>.html.

ALFARO, Marielos. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. Revista Forestal Centroamericana (CATIE). No.19 (abr. – jun. 1997); p. 9 - 12.

ALVAREZ, E. Composición florística, diversidad, estructura y biomasa de un bosque inundable en la Amazonía Colombiana. Medellín, 1993. trabajo de tesis (Magíster en Biología). Universidad Antioquia, Medellín. Área de Ecología.

ANDREO, C. y VALLEJOS, R. Fotosíntesis. Washington D.C: Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos de la OEA. 1984. 26 p.

ARÉVALO, Luis. Definición y clasificación de sistemas agroforestales. ICRAF, s.l. 2002, p. 6.

BROAD, R. Allometry and growth, citado por ZAPATA, Mauricio *et al.* Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2003. p. 89.

CANZIANI, Pablo. Quema de Biomasa. En : Potlatch, Buenos Aires. (5, octubre,2005).

CIESLA, William. Cambio Climático, Bosques y Ordenación Forestal: una visión de conjunto. Roma: FAO, 1996. p. 60.

CUELLAR, Luis *et al.* Manual de arroz para pequeños agricultores. Santa Cruz, Bolivia: CIAT, 2003. 30p.

DELANEY, M *et al.* The quantity and turnover of dead wood in permanent forest plots in six life zones of Venezuela. En: Biotrópica. Vol. 30, (1998); p. 2 – 11.

DOVE, M. R. Forest preference in swidden agriculture. En: Tropical Ecology. Vol. 24, No. 1 (1983); p. 122 – 142.

El Sistema Agroforestal. [en línea]. [citado en 2005-10-12]. Disponible en Internet: [http://www.fs.usda.gov/research/publications/producci%F3n\\_forestal\\_para\\_am%9rica\\_tropical/cap.8.pdf.html](http://www.fs.usda.gov/research/publications/producci%F3n_forestal_para_am%9rica_tropical/cap.8.pdf.html).

FERNÁNDEZ, Pita. Determinación del tamaño muestral de población. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. A. Coruña. Cad A ten Primaria, 1996.

FUJISAKA, Sam y ESOBAR, Germán. En camino a una clasificación práctica de los sistemas agrícolas de corte y quema. [en línea]. (Londres). Red Forestal para el Desarrollo Rural, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1997. [citado en 2005-07-12]. Disponible en Internet: <http://www.odifpeg.org.uk/espanol/publications/rdfn/html>.

GAYOSO AGUILAR, Jorge. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Trabajo presentado en Taller Secuestro de Carbono. Mérida, Venezuela, 2001. p. 2.

GAYOSO, Jorge, GUERRA, Javier y ALARCÓN, Diego. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2002. p. 5.

GCCIP, 1997. Global Climate Change Information Programme. Disponible en Internet: URL: <<http://www.doc.mmu.au.uk/>>

GLASS, E. H. y THURSTON, H.D. Traditional and modern crop protection in perspective. En: Bioscience. Vol. 28, No. 2 (1978); p. 110.

GLIESSMAN, S. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica. CATIE, 2002. p. 137 – 151.

GOULD, Kevin y QUIVIQUIVI, Esteban. Regeneración arbórea posterior a la agricultura de chaqueo y quema en el oriente boliviano: implicaciones para el manejo forestal. Santa Cruz, Bolivia: USAID, 2000. 21p.

HAMES, R. Monoculture, polyculture, and polyvariety in tropical forest swidden cultivation. En: Human Ecology. Vol. 11, No. 1 (1983); p. 24.

HERNÁNDEZ, Ismael y LOPEZ, Danilo. Pérdida de nutrimentos por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. En : Revista de Biología Tropical. Venezuela. Vol. 50 No. 3/4 (febrero. 2002); p. 1013 - 1019.

HERRERA, María *et al.* Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego, Sergio *et al.* Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, 2003. p. 145-165.

HOUGHTON, G., J. G. JENKINS AND J. J. EPHRAMES. 1990. Climate Change: the IPCC scientific assessment. Cambridge University Press, Cambridge.

HUGHES, R *et al.* Biomass, carbon and nutrient dynamics of secondary forests in humid tropical region of Mexico. En: Ecology. Vol. 80 (1999); p.1892 – 1907.

IPCC. Land Use, Land - Use Change and Forestry. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. 2000. Disponible en Internet: [http://www.grida.no/climate/ipcc/land\\_use/html](http://www.grida.no/climate/ipcc/land_use/html).

JIMÉNEZ, Francisco *et al.* Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica. CATIE, 2001. 187 p.

JORDAN, C. F. Amazon Rain Forest. En: American Scientist. Vol. 70, (1982); p.394-401.

KANNINEN, Markku. Secuestro de Carbono en Bosques: El papel de los bosques en el ciclo global del carbono. En: Memorias de una conferencia electrónica sobre agroforestería para la producción animal en América Latina. FAO, Roma, 2000.

LEVINE, J. S. Biomass burning and the production of greenhouse gases. In: Zepp, R.G. (ed) 1994. Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change. John Wiley and Sons. ISBN 0-471-58943-3. Disponible en Internet: [http://asd-www.larc.nasa.gov/biomass\\_burn/biomass.html](http://asd-www.larc.nasa.gov/biomass_burn/biomass.html).

MACDICKEN, K. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects, citado por DEL VALLE, J. Op. cit., p. 216

Manuales sobre energía renovable: Biomasa/Biomass Users Network (BUN-CA). 1 ed. ISBN:9968-904-02-3. [en línea]. San José (Costa Rica). 2002. [citado en 2005-08-02]. Disponible en Internet: <http://www.fonamperu.org/General/mdl/documentos/F.-%20BIOMASA.pdf>.html.

MENDOZA, Ramiro. Estudio del efecto del chaqueo en las propiedades físicas y químicas del suelo en la zona subtropical de Alto Beni, área IV. La Paz, Bolivia, 1997, 130 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ingeniería.

MONTAGNINI, Florencia *et al.* Sistemas Agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2<sup>a</sup>. Edición, San José de Costa Rica, 1992. 620 p.

OKIGBO, B. Sistemas mejorados de producción como alternativa a la agricultura migratoria. 1986. Boletín de suelos (53): 1-128. Disponible en <http://semarnap.org.mx>

ORREGO, Sergio y DEL VALLE, Jorge. Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego, Sergio *et al.* Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, 2003. p. 215-241.

OVERMAN, M. Y SALDARRIAGA, J. Evaluación de modelos de regresión. Amazonas, Colombia: Ecología Tropical, 1994. p. 22-35.

OYAMA, Alfredo *et al.* La dinámica de deforestación y quemadas en el Amazonas: un análisis microeconómico. [en línea]. (Brasil). Red Forestal de Desarrollo Rural, 1993. [Citado en 2005-05-20]. Disponible en Internet: <http://www.odifpeg.org.uk/rdfn/spanishfiles/spanishrdrfnpdffiles/16c.pdf>.html.

PEARSUS, D. Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. Zaragoza, España: ACRIBIA, 1986. p. 19.

PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. La lucha contra el cambio climático: el compromiso del parlamento latinoamericano. Buenos aires. Noviembre 1998. Primer taller del Parlamento Latinoamericano sobre el cambio climático - Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. 174 p.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. Agricultura. En: Estudio de Casos de Manejo Ambiental: Desarrollo Integrado de un Área en los Trópicos Húmedos – Selva Central del Perú. Perú : PNUMA, 1987.

RAMÍREZ, O. y GÓMEZ, M. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. En: Revista forestal Centroamericana (CATIE). No. 37 (jul. – sep. 1999); p. 17 – 22.

REMMERS, Gastón. y UCÁN, Edilberto. La Roza-Tumba-Quema maya: evaluación de un sistema agroecológico tradicional bajo presiones de cambio tecnológico. [en línea]. (México). 1993. [citado en 2005-06-20]. Disponible en Internet: [http://www.infororganic.com/descargas/agroeco1/1\\_&nbsp;La\\_&nbsp;Roz\\_a.pdf+agricultura+de+roza+tumba+y+quem\\*a\\*Remmers&hl=es.html](http://www.infororganic.com/descargas/agroeco1/1_&nbsp;La_&nbsp;Roz_a.pdf+agricultura+de+roza+tumba+y+quem*a*Remmers&hl=es.html).

ROBERT, Michel. Captura de Carbono en los Suelos para un mejor Manejo de la Tierra. [en línea]. Roma (Italia). FAO, 2002. [citado en 2005-06-15]. Disponible en Internet: [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/005/Y2779S/y2779s0a.html](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y2779S/y2779s0a.html).

RUDDLE, K. Y MANSARD, W. Renewable natural resources and the environment. Dublin: Ticooly International (f UNU). Citado por: WARNER, Katherine. La agricultura migratoria: conocimientos técnicos locales y manejo de los recursos naturales en el trópico húmedo. Roma, Italia: FAO, 1994. 80 p.

RUSSELL, W. M. S. The slash-and-burn technique. En: Natural History. Vol. 78 No. 3 (1968); p. 58 - 65.

SALAZAR ENRÍQUEZ, Milena. Restauración y protección de agroecosistemas estratégicos en la captura de carbono, municipio de Pasto, Nariño. Pasto, Nariño, 2004. p. 5.

SALDARRIAGA, J. G. Recuperación de la selva de tierra firme en el alto río Negro Amazonía Colombiana – Venezolana. Tropenbos, Santa Fé de Bogotá, Colombia. 1994.

SALDARRIAGA, C. y ESCOBAR, J. Análisis económico de proyectos forestales como parte del mecanismo de desarrollo limpio en el área de influencia de la central hidroeléctrica Porce II. Medellín, 2001. p 90. Trabajo de gado (economista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de economía.

SATOO, T. y MADGWICK, H. Forest biomass, citados por FORERO *et al*. El calentamiento climático, el Carbono y los bosques. En: Revista de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. Vol. 17, No. 1 (2000); p. 117.

SEGURA, M. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis* en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Ing. For. Heredia, CR, 1997. 34 p.

SEGURA, Milena y VENEGAS, Geoffrey. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Turrialba, 1999. p. 46.

SIFEM (Dirección Nacional de Políticas de Seguridad y Protección Civil). Cambio Climático. [en línea]. Argentina. 2000. [citado en 2005-07-08]. Disponible en Internet: <http://www.proteccioncivil.gov.ar/calentamiento.html>

SOMARRIBA, Eduardo. Modernización de la cacaocultura orgánica del Alto Beni, Bolivia. Informe Técnico, 2002. Alto Beni, Bolivia.

TORQUEBIAU, Emmanuel. Conceptos de Agroforestería: una introducción. En: KRISHNAMURTHY, L. Agroforestería para el Ecodesarrollo. México: Universidad Autónoma Chapingo, ICRAF. 1990. p. 18 - 73.

VALLEJOS BARRA, O., MENDOZA ALVAREZ, M. y SANQUETTA, C. Impacto del cambio climático en modelos de captura de carbono 2003. Paraná – Brasil, 2003. p. 3.

VEGA, L. Pautas para el manejo de Bosques Tropicales Húmedos Integrado al Desarrollo Rural en las zonas de Colonización de Bolivia. En: Actas seminario taller internacional. Alternativas de producción en selva tropical húmeda. Las aplicaciones para las zonas de colonización Alto Beni - Yucumo – Rurrenabaque. La Paz, Bolivia, 1995. p. 136 – 154.

VEGA, Milton. Planificación agroforestal participativa para el enriquecimiento de fincas cacaoteras orgánicas con especies leñosas perennes útiles en el Alto Beni, Bolivia. Tesis Mag. Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2005. 109 p.

WARNER, Katherine. La agricultura migratoria: conocimientos técnicos locales y manejo de los recursos naturales en el trópico húmedo. [en línea]. Roma (Italia):FAO, 1994. [citado en 2005-05-25]. Disponible en Internet: [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=//docrep/006/ad435s00.html](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=//docrep/006/ad435s00.html).

WATTERS, R. La agricultura migratoria en América Latina. Cuadernos de Fomento Forestal N° 17, FAO, Roma, 342 p.

WHITMORE, Tropical rain forest of the Far East, citado por DEL VALLE, Jorge. Medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribución para la mitigación del cambio climático. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos, 2003. p. 88

WINROCK. Citado por la FUNDACION SOLAR. Elementos técnicos para inventarios de Carbono en usos del suelo. Guatemala: Ed. Lilian Márquez, 2000. p. 12.

ZAPATA, M., COLORADO, G. y DEL VALLE, J. Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego, Sergio *et al.* Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, 2003. p. 87 -120.

# **ANEXOS**



## DATOS DE BARBECHOS

Plantas para recuperar los suelos: .....

Actividad para mejorar los barbechos? Si / No, Cuál? .....

Objetivos del agricultor para dejar el barbecho: .....

Qué productos obtiene del barbecho: .....

Vende productos? Si/no, cuál?: .....

## ESPECIFICACIONES AGRONÓMICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ARROZ Y MAÍZ

DATOS	ARROZ	MAÍZ
Variedad 1		
Variedad 2		
De donde obtiene la semilla		
Distancias de siembra		
Cantidad de semilla/ha		
Semillas por golpe		
Mecanismo de siembra		
Uso de abonos o coberturas. Si/No, Cuál		
Plagas		
<b>Enfermedades</b>		
Control de plagas y enfermedades		
Rendimiento de la última cosecha/ha		
Rendimiento más frecuente/ha		
Rendimiento máximo/ha		
Rendimiento mínimo/ha		
Cantidad que vende		
Cantidad para autoconsumo		
Cantidad para semilla		
Donde vende		
Principales limitantes		

Arroz

Maíz

Arroz/  
Maíz

Hizo alguna práctica para mejorar el rendimiento? Si / No, Cuál? .....

Cómo podría mejorar la productividad? .....

Disponibilidad de mano de obra Mala\_\_\_\_\_ Regular\_\_\_\_\_ Buena\_\_\_\_\_

## Costos de producción/ha de arroz y maíz

ACTIVIDAD	UNIDAD	MES	ARROZ			MES	MAÍZ		
			Cantidad	Precio Unitario (Bs)	TOTAL (Bs/ha)		Cantidad	Precio Unitario (Bs)	TOTAL (Bs/ha)
Tumba/Roza	jornal								
Alquiler Motosierra	jornal								
Quema	jornal								
Chalqueado	jornal								
Siembra	jornal								
1ºDeshierbe	jornal								
2ºDeshierbe	jornal								
Abonos									
Cosecha	jornal								
Trilla	jornal								
Transporte	tarifa								
Pelado	qq								
Precio venta	qq								

## Anexo 2.

### Análisis de Regresión – Modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: Necromasa total

Variable independiente: EDAD

Parámetros	Estimación	Error Estandar	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	4,63592	2,72314	1,70242	0,0957
Pendiente	0,653799	0,382213	1,71056	0,0942

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	221,987	1	221,987	2,93	0,0942
Residuo	3338,13	44	75,8665		
Total (Corr.)	3560.117	45			

Coefficiente de Correlación= 0.249708

R-cuadrado = 6.2354 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 4.10439 porcentaje

Error Estandar de Estimación = 8.71014

Cuadrado Medio del Error = 5.94399

### Anexo 3.

#### Análisis de Regresión – Modelo exponencial: $Y = \exp(a + b \cdot X)$

Variable dependiente: Necromasa total

Variable independiente: EDAD

Parámetros	Estimación	Error Estandar	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	1,22518	0,280667	4,36523	0,0001
Pendiente	0,0841008	0,0393938	2,13488	0,0384

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	3,67317	1	3,67317	4,56	0,0384
Residuo	35,4607	44	0,805926		
Total (Corr.)	39,1339	45			

Coefficiente de Correlación= 0,306368

R-cuadrado = 9,38615 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 7,32674 porcentaje

Error Estandar de Estimación = 0,897734

Cuadrado Medio del Error = 0,683112

#### Anexo 4.

#### Análisis de Regresión – Modelo doble recíproco: $Y = 1/(a + b/X)$

Variable dependiente: Necromasa total

Variable independiente: EDAD

Parámetros	Estimación	Error Estandar	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	0,179637	0,0585308	3,06909	0,0037
Pendiente	0,315461	0,158857	1,98581	0,0533

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	0,297407	1	0,297407	3,94	0,0533
Residual	3,31838	44	0,0754178		
Total (Corr.)	3,61579	45			

Coefficiente de Correlación= 0.286797

R-cuadrado = 8.22523 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 6.139944 porcentaje

Error Estandar de Estimación = 0.274623

Cuadrado Medio del Error = 0.175558

## Anexo 5.

### **Modelo Linealizado**

#### **Análisis de Regresión – Modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$**

Variable dependiente: log(Necromasa total)

Variable independiente: log(EDAD)

<b>Parametros</b>	<b>Estimación</b>	<b>Error Estandar</b>	<b>Estadístico T</b>	<b>p-Valor</b>
Ordenada	1,34287	0,337566	3,97808	0,0003
Pendiente	0,251665	0,189236	1,3299	0,1904

#### **Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Cociente –F</b>	<b>p-Valor</b>
Modelo	1,51224	1	1,51224	1,77	0,1904
Residuo	37,6217	44	0,855038		
Total (Corr.)	39,1339	45			

Coefficiente de Correlación= 0,196578

R-cuadrado = 3,86428 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 1,67937 porcentaje

Error Estandar de Estimación = 0,924683

Cuadrado Medio del Error = 0,708158

## Anexo 6.

### Análisis de Regresión – Modelo doble recíproco: $Y = 1/(a + b/X)$

-----  
Variable dependiente: NECROMASA ENTRE 1 y 5  
Variable independiente: EDAD  
-----

Parámetros	Estimación	Error Estandar	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	0,631242	0,138507	4,55747	0,0002
Pendiente	0,409999	0,37588	1,09077	0,2877

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	0,250957	1	0,250957	1,19	0,2877
Residual	4,42948	21	0,210928		
Total (Corr.)	4,68044	22			

Coeficiente de Correlación= 0,231556  
R-cuadrado = 5,36183 porcentaje  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0,855246 porcentaje  
Error Estandar de Estimación = 0,459269  
Cuadrado Medio del Error = 0,391572

## Anexo 7.

### Análisis de Regresión – Modelo Inverso Y : $Y = 1/(a + b \cdot X)$

Variable dependiente: NECROMASA ENTRE 1 y 5

Variable independiente: EDAD

Parámetros	Estimación	Error Estandar-	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	0,907139	0,205741	4,40912	0,0002
Pendiente	-0,0266332	0,0290206	-0,917733	0,3692

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	0,180477	1	0,180477	0,84	0,3692
Residuo	4,49996	21	0,214284		
Total (Corr.)	4,68044	22			

Coefficiente de Correlación = -0,196367

R-cuadrado = 3,85599 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -0,722295 porcentaje

Error Estandar de Estimación = 0,462908

Cuadrado Medio del Error = 0,398116

## Anexo 8.

### Modelo Linealizado para necromasa entre 1 y 5

#### Análisis de Regresión – Modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: log(NECROMASA ENTRE 1 y 5)

Variable independiente: log(edad)

Parámetros	Estimación	Error Estandar-	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	0,323823	0,390125	0,83005	0,4158
Pendiente	0,129164	0,219018	0,58974	0,5617

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	0,197995	1	0,197995	0,35	0,5617
Residuao	11,9551	21	0,569291		
Total (Corr.)	12,1531	22			

Coefficiente de Correlación = 0,127639

R-cuadrado = 1,62917 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -3,05515 porcentaje

Error Estandar de Estimación = 0,754514

Cuadrado Medio del Error = 0,638508

## Anexo 9.

### Análisis de regresión – Modelo raíz cuadrada-Y: $Y = (a + b \cdot X)^2$

-----  
Variable Dependiente: Necromasa mayor 5 cm de diámetro  
Variable independiente: Edad  
-----

Parámetros	Estimación	Error Estandar	Estadístico T	p-Valor
Intercept	1,00745	0,603836	1,66842	0,1094
Slope	0,597269	0,0820451	7,27977	0,0000

-----

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	102,025	1	102,025	53,00	0,0000
Resíduo	42,354	22	1,92518		
Total (Corr.)	144,379	23			

-----

Coefficiente de Correlación = 0,840623  
R-cuadrado = 70,6647 porcentaje  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 69,3313 porcentaje  
Error Estandar de Estimación = 1,38751  
Cuadrado Medio del Error = 1,00913

## Anexo 10.

### Análisis de regresión – Modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$

-----  
Variable Dependiente: Necromasa mayor 5 cm de diámetro  
Variable independiente: Edad  
-----

Parámetros	Estimación	Error Estandar	Estadístico T	p-Valor
Intercept	-5,92977	6,75949	-0,877251	0,3898
Slope	5,51612	0,918434	6,006	0,0000

-----

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	8702,28	1	8702,28	36,07	0,0000
Residuo	5307,44	22	241,247		
Total (Corr.)	14009,7	23			

-----

Coefficiente de Correlación = 0,788137

R-cuadrado = 62,116 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 60,394 porcentaje

Error Estandar de Estimación = 15,5321

Cuadrado Medio del Error = 10,8595

## Anexo 11.

### Modelo Linealizado

#### Análisis de regresión – Modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$

-----  
Variable Dependiente: Necromasa mayor 5 cm de diámetro  
Variable independiente: Edad  
-----

Parámetros	Estimación	Error Estandar	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	1,0536	0,301314	3,49668	0,0023
Pendiente	1,19054	0,159341	7,47165	0,0000

-----

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	12,0934	1	12,0934	55,83	0,0000
Residuo	4,33255	20	0,216627		
Total (Corr.)	16,4259	21			

-----

Coeficiente de Correlación = 0,858042  
R-cuadrado = 73,6237 porcentaje  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 72,3049 porcentaje  
Error Estandar de Estimación = 0,465433  
Cuadrado Medio del Error = 0,358739

## Anexo 12.

Prueba de t para validación del modelo

$$\log(\text{Necromasa} > 5 \text{ cm}) = 1.0536 + 1.19054 * \log(\text{edad})$$

	<b>Necromasa &gt;5 cm</b>	<b>Y Predicha</b>
Media	29,9249372	27,5519022
Varianza	609,108558	287,329946
Observaciones	24	24
Coefficiente de correlación de Pearson	0,78956362	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	23	
Estadístico t	0,7570513	
P(T<=t) una cola	0,22835255	
Valor crítico de t (una cola)	1,71387001	
P(T<=t) dos colas	0,45670511	
Valor crítico de t (dos colas)	2,06865479	

### Anexo 13.

#### Análisis de regresión – Modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: Necromasa total

Variable independiente: edad

Parámetros	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	-3,54841	7,17272	-0,494709	0,6257
Pendiente	5,50629	0,974581	5,64991	0,0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente –F	p-Valor
Modelo	8671,31	1	8671,31	31,92	0,0000
Residuo	5976,19	22	271,645		
Total (Corr.)	14647,5	23			

Coefficiente de Correlación = 0,769415

R-cuadrado = 59,1999 porcentaje

R-cuadrado (ajustado por g.l) = 57,3454 porcentaje

Error estandar de estimación = 16,4817

Cuadrado medio del error = 11,534

## Anexo 14.

### Análisis de Regresión- Modelo Doble inverso: $Y = 1/(a + b/X)$

-----  
Variable dependiente: Necromasa total  
Variable independiente: Edad

Parámetros	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	0,00129186	0,011402	0,113302	0,9108
Pendiente	0,272068	0,031573	8,61712	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente -F	p-Valor
Model	0,11288	1	0,11288	74,25	0,0000
Residual	0,0334438	22	0,00152017		
Total (Corr.)	0,146324	23			

Coefficiente de Correlación = 0,878317  
R-cuadrado = 77,144 porcentaje  
R-cuadrado (ajustado por g.l.) = 76,1051 porcentaje  
Error estándar de estimación = 0,0389894  
Cuadrado medio del error = 0,0239527

## Anexo 15.

### Análisis de regresión – Modelo Exponencial : $Y = \exp(a + b \cdot X)$

-----  
Variable dependiente: Necromasa total  
Variable independiente: Edad

Parámetros	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	p-Valor
Ordenada	1,62838	0,230927	7,05149	0,0000
Pendiente	0,228498	0,0313768	7,28238	0,0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente -F	p-Valor
Modelo	14,9324	1	14,9324	53,03	0,0000
Residuo	6,19449	22	0,281568		
Total (Corr.)	21,1269	23			

Coefficiente de Correlación = 0,840712  
R-cuadrado = 70,6796 porcentaje  
R-cuadrado (ajustado por g.l) = 69,3469 porcentaje  
Error estándar de estimación = 0,53063  
Cuadrado medio del error = 0,398212

## Anexo 16.

### **Modelo alométrico linealizado con log**

#### **Análisis de regresión – Modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$**

-----  
Variable dependiente: log(Necromasa Total )

Variable independiente: log(edad)

<b>Parámetros</b>	<b>Estimación</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico T</b>	<b>p-Valor</b>
Ordenada	1,22423	0,243089	5,03615	0,0000
Pendiente	1,13436	0,133858	8,4743	0,0000

#### **Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Cociente –F</b>	<b>p-Valor</b>
Modelo	16,1725	1	16,1725	71,81	0,0000
Residuao	4,95441	22	0,2252		
Total (Corr.)	21,1269	23			

Coefficiente de Correlación = 0,874924

R-cuadrado = 76,5493 porcentaje

R-cuadrado (ajustado por g.l) = 75,4833 porcentaje

Error estándar de estimación = 0,474553

Cuadrado medio del error = 0,377697

## Anexo 17.

Prueba de t para validación del modelo

$$\log(\text{Necromasa total}) = 1,22423 + 1,13436 * \log(\text{edad})$$

	<b>Necromasa Total</b>	<b>y Predicha</b>
Media	32,2412147	29,0991249
Varianza	636,865279	299,22287
Observaciones	24	24
Coefficiente de correlación de Pearson	0,77111003	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	23	
Estadístico t	0,94944255	
P(T<=t) una cola	0,17613308	
Valor crítico de t (una cola)	1,71387001	
P(T<=t) dos colas	0,35226615	
Valor crítico de t (dos colas)	2,06865479	