

ESTIMACION Y EVALUACION DE LA BIOMASA Y CAPTURA DE CARBONO
DEL LAUREL DE CERA (*Morella pubescens Humb.&Bompl. ex Willd. Wilbur*) EN
DOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN LOS MUNICIPIOS DE PASTO Y SAN
PABLO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

ANA MARCELA DELGADO PORTILLA
YURI VIVIANA MARTINEZ MELO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
INGENIERIA AGROFORESTAL
PASTO – COLOMBIA
2005

ESTIMACION Y EVALUACION DE LA BIOMASA Y CAPTURA DE CARBONO
DEL LAUREL DE CERA (*Morella pubescens Humb.&Bompl. ex Willd. Wilbur*) EN
DOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN LOS MUNICIPIOS DE PASTO Y SAN
PABLO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

ANA MARCELA DELGADO PORTILLA
YURI VIVIANA MARTINEZ MELO

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

Presidente de tesis
LUZ AMALIA FORERO PEÑA I.F. MSc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
INGENIERIA AGROFORESTAL
PASTO – COLOMBIA
2005

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Noviembre de 2005

“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.

DEDICO A:

Por alumbrar con su luz mí camino
y guiar mis pasos hacia él.
Por lo maravilloso que tengo hoy
infinitas gracias yo le doy.

DIOS

Por ser los cimientos de mi hogar,
comprensible e incondicional
El hombre dulce y alegre
que nunca dará un paso a tras.

MI PADRE

Por su compañía a todo momento
con sus risas, bromas y locuras,
alegran cada uno de mis días
La mujer más bella, llena de amor
el cual me expresa sin condición.

MI MADRE

Por que alegra mi vida con su presencia
al compartir conmigo sus problemas
convirtiéndose en oídos a mis palabras
La pequeña niña que nunca me falla.

MI HERMANA

Por la amistad incondicional
que hoy nos llevo a triunfar,
escalando en nuestra vida
lo que hoy es un peldaño más.

YURI MARTINEZ

ANA MARCELA DELGADO PORTILLA

DEDICADO A:

Omar, mi padre.

Por ser el guía de mi camino, por sus palabras llenas de alegría y sus ojos llenos de confianza, por su constante esfuerzo de brindarnos lo mejor y por todo el amor de padre que desprende de su ser.

Elizabeth, mi madre.

Por su apoyo incondicional, por guardar en mi su esperanza, por los años de dedicación, esfuerzo y por el ejemplo de vida que una mujer puede formar.

....a ellos... mi gratitud, respeto y amor.

Jhony, David y Michael, mis hermanos.

Por su paciencia, por su amor silencioso y su compañía, por compartir conmigo nuestras alegrías y tristezas.

La memoria de Jazmín Alexandra, mi hermanita.

En donde quiera que esté, su presencia sigue viva en mi camino.

Andrés.

Mi amigo, mi compañero, mi apoyo y mi amor.

Marcela, mi amiguita.

Por su amistad, sus palabras, conocimientos, esfuerzos, sacrificios y todas las horas de trabajo que pasamos juntas para lograr esta meta casi lejana pero alcanzable.

YURI VIVIANA MARTINEZ MELO

AGRADECIMIENTOS A:

Luz Amalia Forero Peña I.F. M.Sc. docente vinculada a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Plan de Investigación, Fomento e Industrialización del Laurel de Cera PIFIL.

Cristina Luna Cabrera I.A. docente de la Universidad de Nariño y encargada del Plan de Investigación, Fomento e industrialización del Laurel de Cera PIFIL.

Jairo Muñoz Hoyos I.A. M.Sc. rector de la Universidad de Nariño.
Hernando Álvarez Técnico forestal UMATA San Pablo, Nariño

Gloria Rosero, contadora pública.

Janeth Rosero, I.S. especialista en finanzas vinculada a la VIPRI, Universidad de Nariño.

A la familia Urbano de la vereda Bateros.

La Facultad de Ciencias Agrícolas.

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

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1 MARCO TEORICO	3
1.1 CAMBIO CLIMATICO	3
1.1.1 Efecto invernadero	3
1.1.2 Calentamiento global	4
1.2 EL CARBONO	4
1.2.1 Ciclo del Carbono	5
1.2.2 El papel de las plantas en el ciclo del Carbono	5
1.2.3 Bosques y fijación de Carbono	6
1.3 EL SERVICIO AMBIENTAL	7
1.3.1 Fijación y reducción de dióxido de Carbono (conversión de materia)	7
1.3.2 Instrumentos económicos para la mitigación de gases efecto invernadero (GEI): fijación de Carbono.	8
1.3.2.1 Los proyectos de implementación conjunta	8
1.3.2.2 Mecanismos de desarrollo limpio	9
1.3.3 Comercio de emisiones (CE)	10
1.4 SISTEMAS AGROFORESTALES	11
1.4.1 Sistemas silvopastoriles	11
1.4.2 Sistemas de árboles en línea	11
1.5 DESCRIPCION DE LA ESPECIE LAUREL DE CERA	11

1.5.1	Clasificación botánica	12
1.5.2	Descripción morfológica de la especie	12
1.5.3	Importancia ecológica y económica	13
1.6	ESTIMACION DE BIOMASA (METODOS)	13
1.6.1	Métodos destructivos	14
1.6.1.1	Cosecha de la totalidad de la vegetación	14
1.6.1.2	Árbol medio	14
1.6.2	Modelos de regresión	14
1.7	ESTIMACION DE LA FIJACION DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES	15
1.8	PROPIEDADES FISICAS DE LA MADERA Y USOS	16
1.8.1	Contenido de humedad	16
1.8.2	Densidad	17
1.8.3	Clasificación de la madera según densidades	17
1.8.3.1	Madera dura o pesada	17
1.8.3.2	Madera medianamente dura	17
1.8.3.3	Maderas blandas	18
1.9	ANÁLISIS FINANCIERO	18
1.9.1	Aspectos generales del análisis financiero y económico	18
1.9.1.1	Balance general	18
1.9.1.2	Estado de resultados o de ganancias	19
1.9.1.3	Análisis financiero	19

1.10 OTROS ESTUDIOS	20
2. METODOLOGIA	23
2.1 LOCALIZACION	23
2.2. RECOPIACION Y ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS DEL CRECIMIENTO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES	23
2.3 MEDICION DE LA BIOMASA	25
2.3.1 Método destructivo	25
2.3.1.1 Árboles en pie	26
2.3.1.2 Árboles apeados	27
2.3.1.3 Peso de las muestras en laboratorio	31
2.4. ESTIMACION DE CARBONO	33
2.5. CONSTRUCCION Y SELECCIÓN DE MODELOS DE BIOMASA	33
2.6 COMPARACION DE BIOMASA Y CAPTURA DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES	34
2.7 PROPORCIÓN DE BIOMASA AEREA Y RADICAL EN LAUREL DE CERA	34
2.8 BIOMASA Y CARBONO EN DOS DENSIDADES DE SIEMBRA	34
2.9 ESTIMACION DE LA FIJACION DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES	34
2.10 CRECIMIENTO DE LAUREL DE CERA EN EL TIEMPO	35
2.11 ANÁLISIS FINANCIERO	35
2.11.1 Ingresos operacionales	36
2.11.2 Costos de producción	36
2.11.3 Gastos	36

2.11.4 Utilidad	36
2.11.5 Rentabilidad	36
2.12 SISTEMATIZACION DE LA INFORMACION	37
3 RESULTADOS Y DISCUSION	38
3.1 DESCRIPCION DE LA POBLACION DE LAUREL EN SAN PABLO	38
3.2 MODELOS DE BIOMASA PARA LOS ÁRBOLES DE LAUREL DE CERA (<i>Morella pubescens</i>) EN EL SISTEMA AGROFORESTAL DE SAN PABLO	40
3.3 ACUMULACION DE BIOMASA Y FIJACION DE CARBONO	46
3.4 PROPORCIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y RADICAL EN ÁRBOLES DE LAUREL DE CERA (<i>Morella pubescens</i>)	48
3.5 DIFERENCIA DE BIOMASA Y CARBONO ENTRE LAS DOS DISTANCIAS DE SIEMBRA	49
3.6 BIOMASA ACUMULADA A LOS SEIS MESES DE MONITOREO EN BOTANA, MUNICIPIO DE PASTO	50
3.7 CRECIMIENTO DEL LAUREL DE CERA (<i>Morella pubescens</i>) EN EL TIEMPO	51
3.8 USO DE LA MADERA SEGÚN SU DENSIDAD	51
3.9 ANALISIS FINANCIERO	52
3.10 SIMULACION DE UN PROYECTO DE INVERSION PARA EL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO EN UNA HECTAREA EN EL MUNICIPIO DE SAN PABLO, NARIÑO	53
3.10.1 Descripción del producto	53
3.10.2 Formas de consumo	53
3.10.3 Canales de comercialización	53
3.10.4 Requerimientos de otros recursos e inversión	54

3.10.5 Presupuestos de inversiones	54
3.10.5.1 Capital de trabajo	54
3.10.5.2 Inversión inicial	54
3.10.5.3 Estado de costos de producción presupuestado	57
3.10.5.4 Estado de resultados (pérdidas o ganancias)	57
3.10.5.5 Balance inicial	57
3.11 ANALISIS FINANCIERO (1 ha)	57
3.11.1 Indicadores de rendimiento	57
4. CONCLUSIONES	62
5. RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFIA	65
ANEXOS	

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Modelo de biomasa aérea total y por órganos con transformación polinomial, de árboles de Laurel de cera (<i>Morella pubescens</i>) con la variable predictora altura	42
Cuadro 2. Modelos alométricos de biomasa aérea total y por órganos de Laurel de cera (<i>Morella pubescens</i>) con la variable diámetro.	43
Cuadro 3. Cantidad de biomasa y Carbono acumulado en los componente (hojas, ramas, ramitas, fuste y biomasa total) en árboles de Laurel de Cera (<i>Morella pubescens</i>) en el sistema silvopastoril del municipio de San Pablo.	47
Cuadro 4. Cantidad de biomasa y Carbono acumulado en los componente (hojas, ramas, ramitas, fuste y biomasa total) en árboles de Laurel de Cera (<i>Morella pubescens</i>) en el sistema agroforestal del municipio de Pasto.	47
Cuadro 5. Proporción de biomasa aérea y radical en árboles de laurel de cera (<i>Morella pubescens</i>).	49
Cuadro 6. Cantidad de Biomasa total en los árboles de Laurel de cera a dos densidades de siembra en San Pablo, Nariño.	49
Cuadro 7. Cantidad de Biomasa total en los árboles de Laurel de cera a dos densidades de siembra, con la variable área basal en San Pablo, Nariño.	50
Cuadro 8. Crecimiento en altura e incremento medio anual (IMA) en árboles de laurel de Cera, San Pablo, Nariño.	51
Cuadro 9. Estado de resultados del análisis financiero realizado para una hectárea en los municipios de San Pablo y Pasto, respectivamente.	52
Cuadro 10. Requerimientos de materia prima e insumos	55
Cuadro 11. Costos indirectos de fabricación	55
Cuadro 12. Requerimiento de jornales	55

Cuadro 13. Total gastos indirectos de producción	56
Cuadro 14. Compra de activos fijos	56
Cuadro 15. Consolidación de requerimientos	57
Cuadro 16. Estado de costos de producción presupuestado.	59
Cuadro 17. Estado de resultados	60
Cuadro 18. Balance General	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema silvopastoril con laurel de cera (<i>Morella pubescens</i>) en la vereda Bateros, municipio de San Pablo, Nariño.	24
Figura 2. Sistema de árboles en línea con laurel de cera (<i>Morella pubescens</i>), granja experimental Botana, Universidad de Nariño, municipio de Pasto.	24
Figura 3. Medición de la altura en pie de los árboles de Laurel de Cera (<i>Morella pubescens</i>) en San Pablo, Nariño.	26
Figura 4. Medición de la longitud total de fuste desde su base hasta el ápice en San Pablo, Nariño.	27
Figura 5. Muestra de los 500 g. de ramas pesadas en la balanza de precisión en San Pablo, Nariño.	28
Figura 6. Muestra de los 500 g. de ramitas pesadas en una balanza de precisión en San Pablo, Nariño.	29
Figura 7. Separación de ramas, ramitas y hojas de árboles de Laurel de Cera (<i>Morella pubescens</i>) en San Pablo, Nariño.	30
Figura 8. Muestras recolectadas en campo y llevadas al horno en el laboratorio de la Universidad de Nariño.	32
Figura 9. Histograma de frecuencias por clases diamétricas para árboles de Laurel de cera (<i>Morella pubescens</i>) en San Pablo, Nariño.	38
Figura 10. Histograma de frecuencias por clases diamétricas para fustes de Laurel de cera (<i>Morella pubescens</i>), San Pablo, Nariño.	39
Figura 11. Histograma de frecuencias de distribución de la altura para árboles de Laurel de cera (<i>Morella pubescens</i>), San Pablo, Nariño.	39
Figura 12. Histograma de frecuencias de distribución de la altura para fustes de Laurel de cera (<i>Morella pubescens</i>), San Pablo, Nariño.	40

- Figura 13. Modelo alométrico polinomial de la forma $Y= a + bx + cx^2$, ajustado por regresión de biomasa total (BT) vs. altura (h) para árboles del sistema silvopastoril en San Pablo 45
- Figura 14. Modelo alométrico simple de la forma $Y= a + bx$, ajustado por regresión para la relación de biomasa Total (BT) vs. Área basal (AB) para árboles del sistema silvopastoril de San Pablo. 45
- Figura 15. Modelo alométrico simple de la forma $Y= a + bx$, ajustado por regresión para la relación de biomasa Total (BT) vs. Diámetro (d). para fustes del sistema silvopastoril en San Pablo. 46
- Figura 16. Graficas de biomasa y Carbono en los sistemas agroforestales del departamento de Nariño. 48
- Figura 17. Graficas de las ventas en pesos por toneladas de Carbono en Sistemas Agroforestales de Nariño 53

GLOSARIO

APEAR: cortar o tumbar un árbol a ras del suelo.

ALOMETRIA: estudia los patrones de crecimiento, es decir la proporcionalidad entre razones específicas o relativas de crecimiento. Esta relación se conoce como ley alométrica.

BIOMASA: abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol es la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo.

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.

ESTADOS FINANCIEROS: presenta a pesos constantes los recursos generados o utilidades en la operación, los principales cambios ocurridos en la estructura financiera de la entidad y su reflejo final en el efectivo e inversiones temporales a través de un periodo determinado.

ESTADO DE RESULTADOS: presenta la situación financiera de una empresa a una fecha determinada, tomando como parámetro los ingresos y gastos efectuados; proporciona la utilidad neta de una empresa.

GIGATONELADA: es igual a 109 toneladas

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

PICOGRAMO: El picogram (pg) es una unidad de masa del Sistema Internacional, equivalente a la billonésima parte de un gramo. Se representa con el símbolo *pg*: $1 \text{ pg} = 0,000000000001 \text{ g} = 10^{-12} \text{ g}$.

PROLÍFICA: que tiene la virtud de multiplicarse.

PROYECCION FINANCIERA: es la proyección sistemática de los acontecimientos y de las acciones que se esperan de la administración, en forma de programas, presupuestos o informes sobre el estado de las cuentas. Permite examinar con anticipación los efectos financieros de nuevos cambios.

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 ESTADISTICA: 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

Las actividades del hombre han llevado a un incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. El dióxido de Carbono (CO₂) es el principal gas contaminante y el de mayor concentración en la atmósfera terrestre. El C (Carbono) circula en la naturaleza y forma parte esencial de los procesos metabólicos de los seres vivos. En la vegetación es importante ya que participa en la fotosíntesis.

Los principales reservorios de Carbono son los bosques, es por eso que actualmente se han iniciado estudios que cuantifiquen la captura de C en diferentes especies arbóreas y en el suelo, manejado como un Servicio Ambiental.

Colombia y particularmente Nariño se caracterizan por ser una de las regiones con potencial para captura de Carbono debido a la cantidad de biodiversidad que presenta y a la variedad de especies que se generan en esta zona. La especie Laurel de Cera (*Morella pubescens Humb.&Bompl. ex Willd. Wilbur*) posee una gran importancia ecológica, económica e industrial siendo así una fuente de ingresos económicos para los agricultores en varios municipios del departamento.

Con el presente trabajo, se evaluó la cantidad de biomasa acumulada y el potencial de captura de Carbono en el componente arbóreo de un sistema silvopastoril con Laurel de Cera, en la vereda Bateros, a 15 Km. de San Pablo, Nariño, con una altura de 2010 msnm, temperatura media anual de 17°C y precipitación media anual de 1300 mm. Se utilizó el método destructivo donde se apearon 10 árboles de los cuales se tomó variables de fácil medición como diámetro a la base del árbol, área basal, altura en pie y densidad de la madera. Por ser una especie prolífica en su ramificación a la base del árbol, se obtuvieron varios individuos denominados *fustes*.

Mediante análisis de regresión se encontraron los mejores modelos estadísticos para estimar la biomasa total del árbol y de sus componentes (hojas, ramas, ramitas y fuste) en función de variables de fácil medición; la cantidad de biomasa acumulada en un área de 4.108m² fue 4,06 toneladas y la cantidad de Carbono estimado fue 2,03 toneladas. En una hectárea se estimó que la cantidad de biomasa acumulada sería de 8.24 toneladas y 4.12 toneladas de Carbono. Se encontró que la mejor variable predictora para biomasa aérea total de Laurel es la altura. Se midió las tasas de cambio de captura de Carbono en tres parcelas permanentes ubicadas en el municipio de Pasto, en el centro experimental de Botana de la Universidad de Nariño encontrado a una altura de 2720 msnm, temperatura media anual de 12°C y precipitación media anual de 1031 mm donde se obtuvo los siguientes resultados: cuando se empleó la ecuación $\ln(BT) = 8,38003 + 0,00678941*AB$, se determinó un incremento promedio de 164.81 g de

biomasa total con un porcentaje de acumulación de 27.50%, igualmente al emplear la ecuación $\ln(T)=3,5438+2,42705*\ln(d)$, en las parcelas establecidas, se observó un incremento promedio de 248.11 g y un porcentaje de 26.33% de crecimiento.

Se realizaron también, comparaciones de potencial de captura de Carbono entre dos distancias de siembra: 4 x 4 m y 4 x 3 m; lo cual confirmó que no existe una diferencia significativa entre las dos densidades de siembra. La diferencia de acumulación por árbol medio en los Sistemas Agroforestales no es significativa entre los sitios, pero si existe una diferencia significativa en la acumulación de biomasa total debido a la diferencia de las distancias de siembra en los dos sistemas.

Finalmente se realizó el análisis financiero del proyecto en el área de estudio y proyectados para 1 hectárea de Laurel de Cera en San Pablo y Pasto, (Nariño), en donde se concluye que los ingresos por ventas de Carbono no compensan los costos y gastos de establecimiento de la especie estudiada, por lo contrario la fijación de C es positivo en cuanto a ganancia ambiental se refiere ya que esta especie anualmente descontamina del aire un 26% del CO₂ encontrado en la atmósfera.

Palabras claves: Gases de efecto invernadero, calentamiento global, Laurel de Cera, biomasa aérea, ecuaciones de biomasa, modelos alométricos, captura de Carbono, parcelas permanentes, costos de establecimiento, densidad.

ABSTRACT

Man's activities have increased the concentrations of gasses of greenhouse effect. The Carbon dioxide (CO₂) is the main polluting gas and which is the highest concentration in the Earth atmosphere. C (Carbon) moves in the Nature and it is an essential part of metabolic processes of living beings. In vegetation, it is important since it is involved in photosynthesis.

The main stocks of Carbon are forests, so that, at date, some studies which quantify the C capture in different tree species and in soil managed as an Environmental Service have been started.

Colombia and Nariño are characterized to be one of the regions with C capture potential due to the great biodiversity present in the area and to species variety generated in the area. The Wax Laurel (*Morella pubescens Humb & Bompl ex Will. Wilbur*) species has a high ecological, economic and industrial importance because it is a source of economic income to farmers in several municipalities of the department.

With the present work, the quantity of accumulated biomass is tested as well as the C capture potential in the tree component of an Agroforestry System with Wax Laurel in the 'Bateros' footpath, which is to 15 Km from San Pablo, Nariño, with a height of 2010 m.a.s.l., a mean temperature of 17°C a year, an annual mean rainfall of 1300 mm. A destructive method was used, where ten trees were felled from which some variables of easy measurement such as diameter at the bottom of tree, basal area, standing height and wood density were taken. Since *Morella pubescens* is a prolific species in its ramification at the base of the tree, several individuals were obtained and named bows.

Through regression analysis, the best statistical patterns were found to estimate the total biomass and its components (leaves, branches, small branches and bows) in function of easy measurement variables; the quantity of accumulated biomass in a 4.108 – square-meter-area was 4.06 tons and the quantity of C estimated was 2.03 tons.

In one hectare, it was estimated that the quantity of accumulated biomass was 8.24 tons and 4.12 tons of Carbon. It was found that the best predictor variable to total air biomass of Laurel is the height the rates of Change of Carbon capture were measured in three permanent plots located in the municipality of Pasto, in the experimental Center of Botana belonged to the University of Nariño, at 2720 m.a.s.l., and an annual mean temperature of 12°C and a mean rainfall of 1031 mm, a year where the following results were obtained: when the equation $\ln(BT) = 8,38003 + 0,00678941 * AB$ was used, it was determined a mean increase of

164.81 g of total biomass with an accumulation percentage of 27.50%, as a similar way, when the equation $\ln(BT) = 3,5438 + 2,42705 * \ln(d)$ was used in the established plots, a mean increase of 248.11 g and a growth percentage of 23.33% were found.

It was done too some comparisons of potential of Carbon capture between two distances of planting: 4 x 4 m and 4 x 3 m; which verified there is not any meaningful difference between both planting densities. The difference of accumulation per half tree in Agroforestry Systems is not meaningful difference in accumulation of total biomass due to difference of planting distances in both systems.

Finally, a finance analysis of project was done in the study area and it was projected to one hectare of Wax Laurel in San Pablo and Pasto (Nariño). From it, it was possible to conclude income from Carbon sales is not compensated with costs and expensive of establishment of this species. On the contrary, the fixation of Carbon is positive accordance to environmental gain since this species decontaminates air each year with a percentage of 26% from CO₂ found in the atmosphere.

Key words: Gasses of greenhouse effect, global heating, Wax Laurel, air biomass, biomass equations, alometrical patterns, Carbon capture, permanent plots, establishment costs, density.

INTRODUCCION

Una de las manifestaciones del cambio climático es el calentamiento global, éste es producido por el incremento de las concentraciones de algunos gases en la atmósfera como el dióxido de Carbono, el metano, el óxido nitroso, el ozono y los clorofluorocarbonados; las principales causas de esta manifestación es el cambio en el uso de la tierra, las grandes industrias, el uso de combustibles fósiles, etc.

Surge entonces, la necesidad de los países industrializados y con altos índices de contaminación (Canadá y EEUU con el 27% de emisión de dióxido, Europa con 30%, China con 12% y otros países con el 31% de contaminación)¹, de buscar estrategias que disminuyan el impacto ambiental ocurrido en el planeta; para esto, los países del trópico tienen la posibilidad de emprender estudios en donde cuantifiquen la captura de Carbono en plantaciones, ecosistemas naturales y Sistemas Agroforestales. Los árboles capturan CO₂ atmosférico debido a procesos fotosintéticos de las plantas, los cuales son transformados en carbohidratos, O₂ y energía útil para el desarrollo de las mismas.

Colombia posee una considerable extensión de tierras destinadas para el sector agrícola, forestal, pecuario y en reservas naturales, presentando una gran variedad de especies de flora (45000 especies vegetales reportadas por el Grupo Semillas)² que la hacen potencial en la prestación de servicios ambientales. El departamento de Nariño tiene esa misma posibilidad dada su vocación agropecuaria y donde existen 516.249 hectáreas aptas para la implementación de plantaciones forestales. Si estas plantaciones se destinaran a la generación de servicios ambientales, especialmente a la captura de CO₂, podrían convertirse en una fuente de ingresos económicos, de generación de empleo y de conservación del medio ambiente para el agricultor, su familia y la sociedad.

La Universidad de Nariño, mediante el Plan de Investigación, Fomento e Industrialización del Laurel de Cera (PIFIL), durante nueve años se ha dedicado a

¹Contaminación por CO₂. [en línea]. [citado en 2005-11-03]. Disponible en Internet: <http://www.sagan-gea.org/hojared/Hoja14.htm>

²GRUPO SEMILLAS. Sistemas productivos sostenibles. [en línea]. Bogotá (Colombia). [citado en 2005-11-05]. Disponible en Internet: <http://www.semillas.org.co/expinstitucional.htm>

³CORPORACION DE INVESTIGACION Y FOMENTO FORESTAL CONIF. Guía para plantaciones forestales comerciales en Nariño. Bogotá, Colombia: CONIF, 1998. 39p. (serie de documentación; No. 36)

la investigación de la especie Laurel de Cera (*Morella pubescens Humb. & Bompl. ex Willd. Wilbur*), con el ánimo de fortalecer la cultura de las comunidades desde una visión integradora de educación-investigación-participación, considerando a esta especie como promisoría por sus múltiples bondades ecológicas industriales y medicinales.

Dada la importancia del Laurel de Cera, se adelantó la presente investigación con el objetivo de estimar y evaluar la biomasa y captura de Carbono del Laurel de Cera (*Morella pubescens Humb. & Bompl. ex Willd. Wilbur*) en dos Sistemas Agroforestales en los municipios de Pasto y San Pablo, departamento de Nariño, además se cuantificó la cantidad de biomasa aérea por componentes, encontrando los mejores modelos estadísticos de predicción de esta variable y haciendo una comparación en dos densidades de siembra. Finalmente, se realizó un análisis financiero de la captura de Carbono en Sistemas Agroforestales ante diferentes escenarios de superficie plantada de la especie.

1. MARCO TEORICO

1.1 CAMBIO CLIMATICO

1.1.1 Efecto invernadero

Dentro de un invernadero la temperatura es más alta que en el exterior porque entra más energía de la que sale, por la misma estructura del habitáculo, sin necesidad de que empleemos calefacción para calentarlo; en la tierra se produce un efecto natural similar de retención del calor gracias a algunos gases atmosféricos.

La radiación solar absorbida por la superficie terrestre y la atmósfera es balanceada, parte de la radiación saliente de onda larga es atrapada por los gases de efecto invernadero que se producen naturalmente (vapor de agua, dióxido de Carbono, ozono, metano y óxido nítrico) y por las nubes, lo cual permite al planeta tierra poseer una temperatura de 33°C, superior a la temperatura media que tendría en ausencia de los gases de efecto invernadero.

Más del 50% de la radiación solar penetra hasta el suelo y principalmente el agua y el dióxido de Carbono absorben casi el 96% de la energía radiada por la superficie terrestre (radiación infrarroja), siendo reabsorbida por la atmósfera. Debido al efecto invernadero provocado principalmente por el dióxido de Carbono, vapor de agua, metano, óxido nítrico, ozono y los clorofluorocarbonos, la atmósfera terrestre es capaz de retener el 40% de la radiación emitida por el suelo.

Se puede decir, de una forma muy simplificada, que el efecto invernadero lo que hace es provocar que la energía que llega a la tierra sea devuelta más lentamente, por lo que es mantenida más tiempo junto a la superficie y así se mantiene la elevación de temperatura⁴.

⁴El CAMBIO CLIMÁTICO. Calentamiento global [en línea]. [citado en 2005-04-28]. Disponible en Internet: <http://w.w.w.sagangea.org/hojared/hoja3.1.html>.

1.1.2 Calentamiento global

Para Ordóñez:

El cambio climático se define como el posible aumento en la temperatura superficial del planeta que se produciría como consecuencia de un aumento importante y rápido de las concentraciones de gases de invernadero en la atmósfera. La causa fundamental de este incremento es la emisión de estos gases provocados por actividades humanas (antropogénicas) que alteran la composición original de la atmósfera.

Las actividades que se destacan como principales aportadoras de gases de efecto invernadero en el sector energético es: la producción y combustión de carbón, combustión de petróleo, combustión y fugas de gas; en el sector agrícola, ganadero y forestal: la ganadería intensiva, el cultivo de arroz, el uso intensivo de fertilizantes, la combustión de biomasa, la deforestación y cambio de uso del suelo; y en el sector industrial: la producción de cemento, metalurgia, rellenos sanitarios y otros procesos industriales.

Este aumento de gases da como resultado un incremento en la temperatura del planeta provocando cambios en los patrones mundiales de precipitación pluvial, con diferencias regionales significativas, elevación del nivel del mar de 0.2 a 0.6 m, tanto por la expansión térmica de los océanos como por el derretimiento parcial de glaciares en las montañas y de la capa de hielo en las regiones polares y cambios en la humedad del suelo al aumentar la evaporación del agua⁵.

1.2 EL CARBONO

Sugiere Smith:

En la naturaleza el Carbono se halla por doquier: en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos), y en el aire como dióxido de Carbono o anhídrido carbónico.

⁵ORDOÑEZ DIAZ, J. Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México: Instituto Nacional de Ecolnía-SEMARNAP, 1999. p 9-10.

Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de Carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo y que son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida⁶.

1.2.1 Ciclo del Carbono

Para Fragoso:

El principal almacén de Carbono lo constituye la atmósfera, que está asociado al oxígeno formando el CO₂ (como producto de la respiración y/o de algún proceso de combustión), el cual es incorporado a través de los estomas al interior de las hojas de las plantas, por medio de un proceso fotoquímico conocido como fotosíntesis.

Mediante la fotosíntesis, los árboles toman CO₂ del aire, lo combinan con hidrógeno que obtienen del agua del suelo utilizando la energía almacenada en los cloroplastos y a partir de estos, se sintetizan los carbohidratos básicos que al combinarse con otros elementos minerales del suelo, pueden ser utilizados para aumentar el tamaño de los órganos vegetales y de esta forma satisfacer las necesidades reproductivas, por lo que la función biológica de las plantas es tomar los factores de crecimiento disponibles sobre una área determinada y transformarlos en compuestos orgánicos de diversas composiciones⁷.

1.2.2 El papel de las plantas en el ciclo del Carbono

Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el Carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y éste regrese a la atmósfera. Una parte del Carbono fijado es transformado en biomasa y la otra parte es liberada a la atmósfera por medio de la respiración.

⁶ SMITH, T., et al. The global terrestrial Carbon cycle, citado por ORDOÑEZ, J. Ibid., p. 14

⁷ FRAGOSO LOPEZ, P. Estimación del contenido y captura de Carbono en biomasa aérea del predio "Cerro Grande" municipio de Tancitaro, Michoacán, México. Michoacán, 2003. 77 p. Trabajo de gado (Ingeniero Agrónomo especialista en bosques). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Agrobiología.

Para Forero:

Se calcula que las reservas totales de compuestos de Carbono en la tierra ascienden a 26×10^{15} toneladas de Carbono. La mayor parte es encontrada en forma de compuestos orgánicos y solamente cerca del 0.05% en forma de compuestos inorgánicos. En la fitomasa cabe un papel preponderante de los bosques con su abundancia en madera, que almacena más de $\frac{3}{4}$ del Carbono existente en las plantas terrestres. Las zonas boscosas son por lo tanto regiones con la mayor reserva de Carbono orgánico. Las más importantes reservas de Carbono dentro y sobre el suelo se encuentran en las zonas de tundra y bosques septentrionales, donde los detritos se descomponen mucho más lentamente que en las regiones más calientes.⁸

Brown sugiere:

Más de 700 millones de hectáreas de tierra estarían disponibles para el secuestro de Carbono, de las cuales 250 millones serían aptas para plantaciones y agroforestería. Esta área puede conservar y secuestrar entre 60 y 87 Pg* de Carbono hasta el año 2050 (correspondiente al 11 y 15% de las emisiones de combustible fósil durante el mismo periodo de tiempo). La agroforestería podría abarcar el 50% (38Pg).⁹

1.2.3 Bosques y fijación de Carbono

Según Manso:

Los bosques además de cumplir una gama de funciones ambientales y ser uno de los precursores de la reserva genética de la tierra, son importantes en el ciclo global del Carbono ya que almacenan grandes cantidades de Carbono atmosférico en la vegetación y en el suelo e intercambian dicho elemento con la atmósfera en los procesos de fotosíntesis y respiración.

* Pg: pico gamos = 10^{-12} g

⁸FORERO, L; ORDOÑEZ, H. y FORERO, F. El calentamiento climático, el Carbono y los bosques. En: Revista de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. Vol. 17, No. 1 (2000); p. 258 – 271

⁹BROWN, S. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. Biotropica, 1982. p. 161-187

Sin embargo son fuentes de Carbono cuando sufren alteraciones antrópicas como deforestación y los incendios forestales.¹⁰

Para Del Valle:

En grandes áreas del planeta donde el crecimiento de las plantas esta limitado por las bajas temperaturas y la humedad, se podría aumentar la productividad primaria neta y económica. El efecto fertilizante del CO₂ es similar al de los nutrientes que la planta extrae del suelo. Con el aumento de las concentraciones de CO₂, las tasas de fotosíntesis se aceleran debido a dos mecanismos: mayor disponibilidad de CO₂ y mayor eficiencia fotosintética.

Ya que la deforestación es una causa del incremento del CO₂ en la atmósfera, la forestación podría ser una medida para disminuir este incremento.¹¹

1.3 EL SERVICIO AMBIENTAL

1.3.1 Fijación y reducción de dióxido de Carbono (conversión de materia)

Brown afirma:

El aumento en la concentración de CO₂ se constituye en un verdadero problema ecológico ya que los gases se dispersan en toda la atmósfera en lugar de concentrarse alrededor de su lugar de emisión, ocasionando un calentamiento global que se manifiesta en todos los lugares de la tierra.

Ante esta problemática mundial y las consecuencias que puede tener un incremento en la concentración del CO₂ atmosférico sobre la estabilidad de los ecosistemas, es necesario establecer mecanismos para controlar dicho aumento, ya sea, mediante la regulación de las emisiones de estos gases en los países industrializados o por la fijación fotosintética del CO₂ realizada por la fibra de los vegetales.

¹⁰ MANSO, P. Cambio climático y fijación de Carbono: la experiencia de Costa Rica. En: Revista de Ciencias Ambientales. No. 15. (1998); p. 17

¹¹ DEL VALLE, J; MORENO, F. y ORREGO, S. 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 314.

El aumento de CO₂ en la atmósfera ha generado cambios en la dinámica del ciclo del Carbono. Se estima que la cantidad total de Carbono en la atmósfera es de 730 Gt. La cobertura boscosa alberga 560 Gt y el suelo contiene 71500 Gt, entre 1.5 y 3 veces más que la vegetación boscosa. El flujo anual de CO₂ es de 210 Gt y anualmente se emiten 7 Gt de CO₂ de la cantidad total de CO₂, 42% se encuentra en la vegetación y de éste porcentaje el 52% está en los bosques tropicales, 36% en los bosques boreales y 13% en los bosques templados¹².

1.3.2 Instrumentos económicos para la mitigación de gases efecto invernadero (GEI): fijación de Carbono

Según Saldarriaga y Escobar: “los costos financieros (además de los sociales) de un aumento en el nivel medio de la temperatura global, podrían ser mayores que aquellos en que incurriría para mitigar los posibles impactos a través de la reducción (o no aumento) de los gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre”¹³.

1.3.2.1 Los proyectos de implementación conjunta

Según la IPCC: Un país transfiere recursos (financieros, tecnológicos o de conocimiento) hacia otro anfitrión el cual lleva a cabo proyectos de mitigación de GEI; a cambio, el país inversionista recibe créditos de Carbono (unidades de reducción de emisiones URE), es decir una cantidad transferida de servicios de mitigación de GEI desde el país anfitrión, disminuyendo así su responsabilidad sobre la emisión de acuerdo a lo dictado por la convención. La poca presión de los países industrializados para cambiar su forma de desarrollo¹⁴.

* Gt: giga toneladas, (1Gt=10⁹t).

¹² BROWN, Op. cit., p. 148.

¹³ 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. 79. Trabajo de grado (economista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de economía.

¹⁴ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change citado por FORERO, L. Estimación del potencial de la captura de Carbono por la Acacia mágium (*Racospema mágium ex acacia mágnum*), en diferentes densidades de siembra de un sistema silvopastoril en Caucasia, Antioquia. Medellín, 2003. p. 117. Trabajo de grado (Maestría en Ciencias Agrarias). Universidad Nacional de Colombia.

1.3.2.2 Mecanismos de desarrollo limpio (MDL)

Según el mismo autor: “creado este mecanismo en el Protocolo de Kyoto, con el propósito de alcanzar la reducción costo-efectiva por parte de los países industrializados de las emisiones de GEI en un 5,2% con relación a sus emisiones en 1990, para el periodo de cumplimiento 2008 – 2012”¹⁵.

Para Oberthur y Ott;

El MDL se establece como un marco multilateral para la implementación conjunta de proyectos entre países industrializados y subdesarrollados. El ánimo es ayudar a las partes no incluidas de la convención (países industrializados y con economías en transición), a efectuar transferencias de recursos financieros o tecnológicos a un país subdesarrollado para realizar actividades de desarrollo sostenible. El país inversionista puede recibir créditos de Carbono llamado “Certificado de Reducción de Emisiones (CRE)”. Un tercer país se encarga de verificar el proceso. La venta de tonelada de Carbono oscila entre los US \$12 y los US \$60 según el rendimiento de C y los análisis de riesgo de los proyectos.

Debido a la dificultad de una medición exacta de Carbono capturado a través de proyectos forestales, se adoptaron reglas generales para este mecanismo dentro de las cuales se especifica que los proyectos de forestación y reforestación hacen parte de los tipos de actividades que pueden ser clasificados partes de MDL, además de los de eficiencia energética y energía renovable; decisión marcada por la ventaja de las actividades de uso de la tierra y silvicultura no solo por su costo-efectividad, debido a que estos no exigen reconversión tecnológica y al bajo costo de la mano de obra en términos relativos sino también por los impactos ambientales y sociales positivos .

En cualquier tipo de actividad es posible identificar un riesgo potencial de fugas. Las fugas pueden anular completamente los esfuerzos de un proyecto para reducir o secuestrar emisiones de GEI.

¹⁵ Ibid., p. 117

Por lo tanto, cualquier proyecto MDL debe cuantificar su riesgo asociado de fugas. Sin embargo, prever y controlar las fugas es muy difícil de hacer, especialmente cuando se toman en cuenta aspectos de mercado y comercio¹⁶.

Según el mismo autor:

Las incertidumbres asociadas a los supuestos de línea base y a los estimados de emisiones reducidas o secuestradas; los riesgos de emisiones asociadas a incendios, plagas, cambio de uso de la tierra y otros factores de riesgo en el impacto de las fugas sobre las emisiones en otros lugares, deben ser tomadas en cuenta a la hora de atribuir un beneficio para la mitigación del cambio climático a un proyecto específico. También en este caso, no existe todavía una decisión de la COP sobre los métodos que deben ser empleados para tomar en cuenta todos estos factores en el cálculo de los CRE atribuibles a un proyecto¹⁷.

Para la SGS: “sin embargo, existen propuestas metodológicas que ya se han probado en algunos proyectos. Una propuesta es descontar de las emisiones totales secuestradas o reducidas una reserva proporcional a los niveles cuantificados de incertidumbres, riegos y fugas. En algunos casos, la reserva superó al 60% de las emisiones totales secuestradas o reducidas por el proyecto”¹⁸.

1.3.3 Comercio de emisiones (CE)

La IPCC: “se refiere al comercio de cantidades asignadas de emisiones de GEI (no usadas) entre aquellos países del Protocolo de Kyoto que están por debajo de sus emisiones permitidas, con aquellos que han excedido sus niveles de emisión en un periodo de cumplimiento dado, basado en derechos de contaminación”¹⁹.

¹⁶ Ibid., p. 118 – 119

¹⁷ Ibid., 117 p.

¹⁸ SOCIETE GENERAL OF SURVEILLANCE SGS. Rio Condor Forest Carbon Project. Executive summary. . [en línea]. Octubre 15 de 2000. [Citado el 18 de febrero de 2005]. Disponible en Internet: URL: <sgs.nl.ago@sgsgoup.nl

¹⁹ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), Op. Cit., 117 p.

1.4 SISTEMAS AGROFORESTALES

Dice Fassbender: “Los sistemas de producción agroforestal se definen como una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas y/o pastos en función del tiempo y espacio para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida”²⁰.

1.4.1 Sistemas silvopastoríles: el mismo autor afirma que: “estos sistemas combinan los pastos para ganadería con árboles y arbustos. Estos sistemas cumplen algunas funciones de los bosques naturales porque poseen vegetación permanente con raíces profundas y un dosel denso”²¹.

1.4.2 Sistemas de árboles en línea: para el mismo autor: “este sistema es conocido como cultivo de franjas o hileras en los cuales se plantan árboles en líneas o grupos dentro de los cultivos. Las especies arbóreas son generalmente de producción múltiple (madera, leña, estacas, forraje) y de servicios (sombra, materia orgánica, residuos de cobertura, fijación de N)”²².

1.5 DESCRIPCION DE LA ESPECIE LAUREL DE CERA

Para Muñoz:

El Laurel de Cera (*Morella pubescens* Humb.& Bompl. ex Willd. Wilbur) es un árbol que crece de manera natural en los potreros, taludes de carretera, cerca de los ríos, quebradas y en periferias de bosquetes. Se encuentra distribuido en los países de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y algunos países de Centro América; se encuentra en zonas frías y húmedas entre 1600 y 3200 msnm, sobre una gran diversidad de suelos fértiles e incluso estériles. En Colombia se encuentra en la cordillera central (Nariño, Cauca y Antioquia). Tiene importancia ecológica por ser una especie óptima para la protección de cuencas hidrográficas y la conservación de suelos y sus raíces fijan nitrógeno. La Cera que se obtiene de los frutos tiene importancia industrial y es utilizada en el proceso de fabricación de panela, velas, jabones entre otros²³.

²⁰ FASSBENDER, H. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica: CATIE/GTZ, 1993. p. 493

²¹ Ibid., p. 86

²² Ibid., p. 72

²³ MUÑOZ, J., et al. Laurel de Cera: una especie promisoría de los Andes. Quito, Ecuador: SOBOC Grafic, 2004. p. 5

1.5.1 Clasificación botánica

Según Cronquist: el Laurel de Cera pertenece a:

- **Reino:** Plantae
- **Phylum:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Subclase:** Hammamelidae
- **Orden IX:** Myricales
- **Familia:** Myricaceae
- **Subfamilia:** Myricoidea
- **Genero:** Morella
- **Especie:** *Morella pubescens hum. & Bompl. ex willd. Wilbur*
- **Nombre vulgar:** Laurel de Cera u Olivo de Cera²⁴

1.5.2 Descripción morfológica de la especie

Para el mismo autor:

La raíz del Laurel es fibrosa pivotante, hipogea con altas ramificaciones, hasta las raíces secundarias. Las raíces se extienden fácilmente por el suelo, lo que le permite oxigenar otras plantas a partir de sus raíces y así en los primeros años de vida, formar nuevos ramitos. Si se corta la parte aérea a nivel del suelo la raíz se regenera perfectamente. Las raíces del Laurel presentan nódulos de forma coraloide con gran cantidad de lóbulos dispuestos en racimos. Estos nódulos albergan el actinomiceto *Frankia*, que tiene la capacidad de fijar nitrógeno.

El Laurel de Cera es un arbusto de corteza gris clara u oscura con numerosas lentícelas oscuras, ramas de color marrón oscuro o pardo y sus tallos se ramifican densamente cuando han alcanzado los 50 cm de altura. Sobre los tallos se asientan varias especies de líquenes en la porción basal se encuentran algunos musgos, especialmente *Cryphaea patens* y *Macromitrium guatemaliense*.

Las hojas son coriáceas, simples, alternas y lanceoladas, pubescentes por el has y el envés, borde aserrado, base atenuada o ligeramente atenuada, las nervaduras son salientes y se bifurcan en el ápice que es

²⁴ CRONQUIST, An integrated system of classification of flowering plants, citado por Muñoz, Ibid., p. 9

agudo. Poseen un olor agradable característico.

Las flores no se identifican con facilidad, son de color verde y se agrupan formando inflorescencias. Las flores masculinas caen muy rápido después de liberar el polen; las flores femeninas perduran más tiempo, mientras se desarrollan los ovarios convirtiéndose en frutos, el ovario es súpero, pubescente, bicarpelar de color verde amarillento.

Los frutos se presentan dispuestos en racimos pequeños, escamosos y duros. Son pequeños, esféricos y drupáceos, recubiertos por una capa de Cera blanca atravesada por pelos más o menos largos. El número de frutos por kilogramo es de 32.019, de los cuales el 40% es Cera, 23% impurezas y 37% semillas. Las semillas se encuentran en el interior del fruto. El número promedio de semillas por Kg. es de 100.000²⁵.

1.5.3 Importancia ecológica y económica

Según el mismo autor:

El Laurel posee importancia ecológica por ser una especie óptima para la protección de cuencas hidrográficas y del suelo, ya que sus raíces fijan nitrógeno; tanto los bosques nativos como las plantaciones de Laurel brindan servicios ambientales que conviene mantenerlos. La Cera que se obtiene de los frutos tiene importancia industrial y es utilizada en el proceso de fabricación de panela, velas, jabones, linimentos, betunes, entre otros; además las comunidades campesinas e indígenas la utilizan por sus principios medicinales²⁶.

1.6 ESTIMACION DE BIOMASA (METODOS)

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 metodológicos²⁷".

²⁵ Ibid., p. 18-21

²⁶ Ibid., p. 7-8

²⁷ WHITMORE, Tropical rain forest of the Far East, citado por DEL VALLE, Op. cit., p. 88

Básicamente existe dos métodos para estimar 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.

1.6.1 Métodos destructivos

Para Satoo y Madgwick, son los siguientes métodos:

1.6.1.1 Cosecha de la totalidad de la vegetación, la cual se hace sobre un área conocida y se extrapola a una hectárea. Es la mas precisa (pues omite los errores de estimación), pero también es la mas dispendiosa a medida que se trabaja con coberturas de estados sucesionales avanzados.

1.6.1.2 Árbol medio, 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 media²⁸.

1.6.2 Modelos de regresión

Para los mismos autores:

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 mas 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 alométrico²⁹.

²⁸SATOO, T. y MADGWICK, H. Forest biomass, citados por FORERO, Op. cit., p. 117

²⁹Ibid., 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 alométrica³⁰.

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”³¹.

1.7 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 obtener datos estadísticamente mas confiables y reducir costos para llevar a cabo el monitoreo y la verificación”³².

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 CO₂), así como el monitoreo de los demás

³⁰BROAD, R. Allometry and growth, citado por DEL VALLE, Op. cit. p. 89

³¹SALDARRIAGA., Op. cit. p. 90

³²WINROCK. Citado por la FUNDACION SOLAR. Elementos técnicos para inventarios de Carbono en usos del suelo. Guatemala: Ed. Lilian Márquez, 2000. p. 12

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 m² las cuales permiten evaluar eficientemente los cambios en la fijación de Carbono. El monitoreo se realiza periódicamente cada seis meses, después de instalada la parcela³³.

1.8 PROPIEDADES FISICAS DE LA MADERA Y USOS

1.8.1 Contenido de humedad

Según la junta de acuerdo de Cartagena:

La madera contiene agua bajo tres formas: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución. El agua libre se encuentra llenando las cavidades celulares. El agua higroscópica se halla contenida en las paredes celulares. El agua de constitución se encuentra formando parte integral de la estructura molecular. Cuando se expone la madera al medio ambiente, empieza a perder agua iniciándose el proceso de secado. En el transcurso del secado se pierde primero el agua libre y después el agua higroscópica, el agua de constitución no se pierde sino por combustión de la madera.

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra o seca. Para una muestra de madera el CH será:

$$CH\% = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso anhidro}}{\text{peso anhidro}} \times 100$$

El peso anhidro o peso seco es conseguido mediante el uso de un horno a 103 ± 2°C, también se le llama peso seco al horno.

Existen dos valores del CH que son importantes, el primero se le llama punto de saturación de las fibras (PSF) y es el CH que tiene la madera cuando ha perdido la totalidad del agua libre y comienza a perder el agua higroscópica. El segundo CH se le llama contenido de humedad

³³ MACDICKEN, K. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects, citado por DEL VALLE, J. Op. cit., p. 216

de equilibrio (CHE) cuando la madera expuesta al aire, pierde parte del agua higroscópica hasta alcanzar un CH en equilibrio con la humedad relativa del aire. Cuando el CH es menor que el PSF la madera sufre cambios dimensionales, también varían sus propiedades mecánicas³⁴.

1.8.2 Densidad

Para los mismos autores:

La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo se llama densidad. Por costumbre cuando se usa el sistema métrico se toma la masa como el peso del cuerpo. El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida mas el peso del agua.

El volumen de la madera es constante cuando está en el estado verde, el volumen disminuye cuando el contenido de humedad es menor que el punto de saturación de las fibras (PSF) y vuelve a ser constante cuando a alcanzado el estado anhidro o seco al horno.³⁵

1.8.3 Clasificación de la madera según densidades

Para la Junta del acuerdo de Cartagena:

1.8.3.1 Madera dura o pesada: comprende a las maderas pesadas y muy pesadas con densidades entre 0.8 g/cm^3 y 1.12 g/cm^3 al 15% del contenido de humedad. Durabilidad natural alta (excepto albura). No necesita tratamiento preservador.

1.8.3.2 Madera medianamente dura: incluye las maderas medianas o medianamente pesadas. Densidad entre 0.72 a 0.88 g/cm^3 . Algunas se pueden considerar maderas pesadas pero su durabilidad natural no es muy alta en condiciones tropicales, por lo tanto se recomienda usarlas con tratamiento preservador.

³⁴ JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de diseño para maderas del gupo Andino: proyectos andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales PADT REFORT. Lima, Perú: CARVAJAL S.A., 1984. p. 1-15

³⁵ Ibid., p 1-16 – 1-19

1.8.3.3 Maderas blandas: consideradas así a las especies relativamente poco densas o livianas comprendidas entre densidades de 0.4 g/cm^3 a $0,72 \text{ g/cm}^3$ al 15% de contenido de humedad³⁶.

1.9 ANALISIS FINANCIERO

1.9.1 Aspectos generales del análisis financiero y económico

Para el CATIE:

Por análisis financiero se entiende el análisis de ingresos, costos y rentabilidad de empresas individuales, considerando todos los factores de producción como pagados a precios corrientes de mercado. Por análisis económico se entiende el análisis que se hace desde un punto de vista más global, economía nacional y en relación con la sociedad en la que se inserta.

El capital es el conjunto de bienes que contribuye al proceso de producción (capital en tierras, mejoras y capital operativo), puesto a producir, genera costos e ingresos³⁷.

Para Gudiño y Coral:

El análisis financiero comienza con la determinación de los ingresos y costos del proyecto y determinación del flujo del ingreso neto con el análisis correspondiente. Para esto es necesario realizar los estados financieros los cuales sirven para conocer la situación financiera y los resultados económicos obtenidos en la finca a lo largo de un periodo de tiempo³⁸. Estos estados financieros se clasifican en:

1.9.1.1 Balance general: es un documento contable que informa en una fecha determinada la situación financiera de la finca, presentado en forma clara el valor de sus propiedades y derechos, sus obligaciones y su capital.

³⁶Ibid., p 3-7

³⁷CENTRO AGONOMICO DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA CATIE. Análisis económico y financiero de fincas pequeñas con sistemas mixtos de producción, metodología y estudios de caso en fincas de Jocoso, El Salvador. Turrialba, Costa Rica: 1987. p. 95

³⁸GUDINO, E y CORAL, L. Contabilidad 2000. 2 ed. Santa Fe de Bogotá: McGAW-HILL INTERAMERICANA, 1996. p. 217-240.

En el balance, solo aparecen cuentas reales y éste a su vez se clasifica en: activo, pasivo y patrimonio.

- **Activo:** se clasifica de acuerdo con su grado de disponibilidad, o sea la factibilidad o rapidez para ser convertido en efectivo, en un periodo determinado. Se subclasifica en activo corriente, propiedad, planta y equipo, gastos legales, entre otros.
- **Pasivo:** se clasifica en razón de la exigibilidad, o sea el plazo que tiene la finca para pagar sus deudas. Se subclasifica en pasivo corriente, pasivo a largo plazo, diferidos, entre otros.
- **Patrimonio:** se clasifica en: capital social, superávit del capital, reservas, revalorización del patrimonio, entre otros.

1.9.1.2 Estado de resultados o de ganancias y pérdidas: es el documento donde se informa detallada y ordenadamente como se obtuvo la utilidad del ejercicio contable. Este se compone por las cuentas nominales, transitorias o de resultados, o sea las cuentas de ingresos, gastos y costos.

- **Los ingresos.** Son todas aquellas incorporaciones de valores al sistema y se subdividen en dos grandes grupos: ingresos en efectivo y aumentos en el inventario.
- **Los costos.** Se dividen en fijos y variables. El análisis de la variable flujo neto, permite cuantificar el saldo entre los ingresos en efectivo y los gastos en efectivo de la finca, a fin de estimar la disponibilidad de dinero de la explotación y la capacidad para realizar gastos en efectivo en momentos específicos o para invertir en mejoras.

1.9.1.3 Análisis financiero: permite determinar la conveniencia de invertir o conceder créditos a la finca; así mismo determinar la eficiencia de la administración de una finca. Es necesario entonces proceder a las razones financieras. Razón es la relación que existe entre dos cifras que se comparan entre si. El procedimiento de razones simples sirve para determinar la liquidez, solvencia, estabilidad, solidez y rentabilidad, entre otros factores que sirven para analizar ampliamente la situación económica y financiera de la finca³⁹.

³⁹ Ibid., p. 217-240

1.10 OTROS ESTUDIOS

Caldentey. J. realizó un estudio de la acumulación y distribución de biomasa aérea en dos bosques naturales de Lenga *Nothofagus fumilo* en la isla de Tierra del Fuego, Magallanes, Chile. La biomasa se estimó mediante ecuaciones alométricas, desarrolladas a partir del muestreo destructivo de 91 árboles.

Con los resultados proporcionados por el inventario silvícola se seleccionaron 91 árboles, distribuidos equitativamente en seis parcelas. El muestreo fue de tipo destructivo y dirigido, cada árbol fue apeado y sus fustes troceados a intervalos regulares. Se calcularon los volúmenes brutos con y sin corteza de las trozas.

El muestreo de las copas se realizó a partir de un censo de las ramas de todos los árboles apeados. Se muestreo el 21% de las ramas en cada árbol, extrayéndolas completamente.

Todas las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en horno a una temperatura de 75°C, hasta la obtención de peso constante. El peso seco de fuste y ramas comerciales incluyendo madera y corteza, se estimó a partir del volumen y la densidad básica media de las trozas. Las ramas y hojas fueron pesadas de forma separada. La biomasa de las copas de cada árbol muestreado, se estimó mediante ecuaciones que relacionaron variables morfológicas de las ramas con su peso seco y luego por la suma de sus componentes.

Para la determinación de la biomasa acumulada en los árboles se determinaron funciones de biomasa para estimar el peso seco acumulado en cada árbol y/o sus componentes, a partir de variables dasométricas: diámetro y altura.

Los valores de biomasa total fueron similares para los dos rodales. Un análisis de varianza permitió afirmar al 95% de confianza, la inexistencia de diferencias significativas en la biomasa acumulada por hectárea de los distintos componentes. La distribución de la biomasa en fustes, ramas y follaje varío con la especie, edad, sitio, estado sanitario y tratamiento silvícola de los rodales.

En los fustes, en promedio, concentraron el 87.4% de la biomasa total (73.6% de madera y 13.8% de corteza), y correspondieron a 12.6% de copas de la biomasa total (11.75% de ramas y 0.85% de hojas).⁴⁰

⁴⁰ CALDENTEY. J. Acumulación de biomasa en rodales naturales de *Nothofagus pumilo* en Tierra de Fuego, Magallanes, Chile. En: Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Instituto nacional de investigación y tecnología agraria y alimentaria. Vol. 4. No. 2. (Noviembre, 1995); p. 165 – 174.

En un estudio de captura de Carbono, Fragoso presentó una propuesta integral de un plan de manejo del predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro Michoacán, México. Los resultados obtenidos mostraron datos positivos en lo que al almacenamiento de Carbono se refiere. Tomando en cuenta el volumen en m³ por especie, calcularon el contenido de Carbono en biomasa aérea en este predio, resultando: *Abies religiosa* presentó 15, 800 tonC (toneladas de Carbono, *Pinus pseudostrobus* 5, 433 tonC, *Quercus laurina* 3,040 tonC y una agrupación de hojosas presentó 367 tonC, sumando una cantidad de 24, 640 tonC⁴¹.

En otro estudio realizado en la cuenca media del río Porce, Antioquia (Colombia), mediante análisis de regresión encontraron los mejores modelos estadísticos para estimar la biomasa total del árbol y de sus componentes (hojas, ramitas, ramas y fuste), en función de variables de fácil medición en inventarios sucesivos. La información se obtuvo de la cosecha de árboles en los bosques primarios intervenidos y secundarios de la cuenca. Utilizaron transformaciones logarítmicas de las variables para corregir la heterocedasticidad, situación muy común cuando se establecen relaciones entre las dimensiones de los árboles por medio de modelos lineales y no lineales para determinar los mejores estimadores de los parámetros. Encontraron que el diámetro es la variable predictora más significativa de la biomasa aérea. Obtuvieron también ecuaciones de regresión para 8 especies o grupos de especies afines típicas de bosque secundarios tropicales⁴².

Otro caso reportado de medición de Carbono se realizó en el departamento de Antioquia (Colombia) con 33 parcelas permanentes de 100 m² en bosques primarios intervenidos y 77 parcelas permanentes de 500 m² en bosques secundarios. Estimaron las existencias de biomasa y Carbono almacenado en los siguientes compartimientos: biomasa aérea, necromasa, biomasa subterránea y suelo. La biomasa aérea total en los bosques primarios promedió 246.542 tn/ha, representadas en 92.42%. Los bosques secundarios tuvieron en este compartimiento una biomasa aérea total de 46.491 ton/ha. En cuanto a la necromasa total alcanzó 13.197 ton/ha en los bosques primarios intervenidos y 5.749 ton/ha en los bosques secundarios. En la segunda medición de todas las parcelas permitió estimar la tasa anual de incremento neto de la biomasa aérea en 11.675 ton/ha (5.220 de tonC/ha) en los bosques primarios y 6.233 ton/ha (2.789 tonC/ha) en los bosques secundarios⁴³.

⁴¹ FRAGOSO LOPEZ, Op. cit., p. 71

⁴² DEL VALLE, Op. cit., p. 87

⁴³ Ibid., p.215

En la ciudad de Pasto, departamento de Nariño, se realizó un estudio donde se estimó la cantidad de biomasa aérea y la existencia de Carbono en una pradera con pasturas mejoradas *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens*, *Lolium multiflorum* contiguo a un lindero maderable de *Acacia decurrens* con 9 años de edad conformando un arreglo silvopastoril y el componente arbóreo. En el arreglo la estimación del compartimiento pastos, se realizó a diferentes distancias en relación al lindero maderable donde determinaron la influencia del componente arbóreo sobre la producción y almacenamiento de Carbono de las forrajeras. El promedio de rendimiento de la biomasa aérea de la pradera del sistema silvopastoril evaluado fue de 1.33 ton/ha y de 0.66 ton C/ha por corte y en la pradera de 1.91 toneladas de biomasa / ha y 0.95 ton C/ha. La biomasa aérea del componente arbóreo se estimó a través de una ecuación reportada en bibliografía para *Acacia decurrens*, donde determinaron el Carbono almacenado en el lindero. El segundo método que utilizaron fue el destructivo, técnica del árbol medio de área basal promedio, trabajo realizado en campo, donde hicieron una comparación de estas dos técnicas y confirmaron que la más confiable es la técnica del método destructivo⁴⁴.

En Sistemas Agroforestales se realizó un estudio con cercos vivos de acumulación de biomasa y captura de Carbono en el corregimiento de Mocondino, municipio de Pasto donde establecieron tres parcelas de muestreo de 64 m², destacándose de estos sistemas 5 especies de importancia local *Baccharis latifolia*, *Verbesina arborea*, *Cestrum tumentosum*, *Rubus glaucus* y *Miconia sentinodium*. Los mejores modelos estadísticos para estimar la biomasa aérea de estas especies, en función de las variables fueron los de tipo alométrico los cuales fueron obtenidos con información proveniente del aprovechamiento de los árboles. La variable predictora mas significativa de la biomasa aérea para *B. latifolia*, *V. arborea* y *C. tumentosum* fue el área basal en cambio para *R. glaucus* fue la altura, para *M. sentinodium* no se realizaron modelos alométricos debido al bajo ajuste de las transformaciones. La cantidad de biomasa aérea en un kilómetro de cerco vivo fue 3,86 toneladas y 1,96 toneladas de Carbono. Para las especies de valor local la biomasa y el Carbono fueron de 2,38 y 1,19 toneladas respectivamente⁴⁵.

⁴⁴ APONTE, O. y OBANDO, B. Estimación de biomasa aérea y Carbono almacenado en el arreglo silvopastoril de Acacia negra *Acacia decurrens* en el lindero maderable; en el corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto. Trabajo de grado (Ingeniería Agroforestal). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, 2004. p. 85

⁴⁵ ROSAS, W. y SALAZAR, M. Estimación de la biomasa y el Carbono en el Sistema Agroforestal, cercos vivos en la vereda Mocondino, municipio de Pasto. Trabajo de gado (Ingeniería Agroforestal). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, 2004. p. 24

2. METODOLOGIA

2.1 LOCALIZACION

La estimación y evaluación de la biomasa y captura de Carbono de Laurel de Cera se realizó en dos Sistemas Agroforestales, el primero, localizado en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño, vereda Bateros a 15 km de la cabecera municipal, a una altura de 2010 msnm., con precipitación pluvial media anual de 1300 mm. y una temperatura promedio de 17°C. El otro sistema se encuentra ubicado en el municipio de Pasto, en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño, a una altura de 2720 msnm., con una temperatura media anual de 12°C y una precipitación media anual de 1031 mm.

2.2 RECOPIACION Y ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

El sistema silvopastoril del municipio de San Pablo (Figura 1), conformado por árboles de Laurel y pastos naturales fue establecido en el año 1997 por Gomez⁴⁶, para adelantar un estudio sobre distancias de siembra y niveles de fertilización (dosis de 50 y 100 g del fertilizante compuesto 13-26-6) en un diseño de bloques al azar. El ensayo tiene un área de 4.108 m² y en el están sembrados 308 árboles, distribuidos en 6 parcelas, en tres de ellas los árboles están a distancias de 3 x 4 m y en las restantes están a 4 x 4 m.

En este sistema se cosechó 10 árboles representativos al azar para la medición de biomasa y Carbono en los cuales se aplicó el método destructivo, metodología descrita en el acápite siguiente (Anexo 1).

El sistema de árboles en línea con Laurel y cultivos transitorios, en la granja de Botana, municipio de Pasto (Figura 2), se estableció en el año 1999 por Molina y Narvaez⁴⁷, en un área de 2916 m² en el cual se realizó inicialmente un estudio sobre el rendimiento y crecimiento del Laurel asociado a cultivos de maíz y frijol, los árboles están a una distancia de siembra de 6 x 6 m y son en total 81 árboles distribuidos en 9 parcelas en un diseño de bloques al azar con tres tratamientos. En este sistema se cosecho un árbol con la técnica de árbol medio y se establecieron las parcelas de monitoreo de Carbono.

⁴⁶ GOMEZ CABRERA, L. Estudio de tres niveles de fertilización y dos distancias de siembra para el cultivo del Laurel de Cera (*Myrica pubescens Humb & Bonpl ex wild*) en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño. Tesis de grado (Ingeniería agrónoma). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, 1999. p. 18.

⁴⁷ MOLINA, A. y NARVAEZ, W.. Sistema Agroforestal Laurel de Cera (*Myrica pubescens* h.b.k.), intercalado con cultivos transitorios en el municipio de Pasto. Pasto, 2000. 67 p. Trabajo de grado (Ingeniero agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.



Figura 1. Sistema silvopastoril con Laurel de Cera (*Morella pubescens*) en la vereda Bateros, municipio de San Pablo, Nariño.



Figura 2. Sistema de árboles en línea con Laurel de Cera (*Morella pubescens*), granja experimental Botana, Universidad de Nariño, municipio de Pasto.

2.3 MEDICION DE LA BIOMASA

2.3.1 Método destructivo: en el sistema silvopastoril de San Pablo se realizó la cosecha de 10 árboles y se estimó la biomasa en peso seco de hojas (se incluyó flores y frutos)*, ramitas, ramas, fuste; similar al trabajo de campo realizado por Del Valle et al., en la cuenca del río Porce (Antioquia), donde seleccionaron entre 12 y 15 árboles por especie, los cuales fueron apeados haciendo un corte a ras del suelo, para encontrar la masa verde de los árboles, así como de sus componentes (hojas, ramitas, ramas y fuste)⁴⁸.

Con la información de los componentes se construyeron los modelos de regresión, donde se relacionaron el peso seco de dichos árboles con las variables dasométricas como el diámetro normal, la altura del árbol, el área basal y la densidad de la madera. Como los árboles de Laurel ramifican a baja altura y esta ramificación es muy prolífica, entonces se contabilizó el total de tallos (28 fustes) y cada uno de ellos se discriminó como un individuo, por lo tanto se les realizó el levantamiento de datos según la metodología que se describe a continuación.

Para comparar la cantidad de Carbono fijado en los dos sistemas, en Botana se realizó la cosecha de un árbol con la técnica del árbol medio, al cual se le estimó la biomasa en peso seco de hojas (flores y frutos)*, ramitas, ramas, fuste, cortándolo a ras del suelo, para encontrar la masa verde total y de sus componentes.⁴⁹

Para la recolección de la información se consideró dos momentos en el trabajo de campo: árboles en pie y árboles apeados, y en cada uno de ellos se midieron las diferentes variables:

* Debido a que en la época en que se realizó el estudio no había abundante floración ni fructificación y el peso de estos componentes resultó muy baja.

⁴⁸ DEL VALLE, J., et al. Op. cit. p. 92

⁴⁹ Ibid., p. 93

2.3.1.1 Árboles en pie: se tomó la variable diámetro en la base del árbol y a ras de suelo, luego se midió el diámetro a una altura de 30 cm a cada una de las ramificaciones (fustes); también se midió la altura total en pie con una mira graduada.



Figura 3. Medición de la altura en pie de los árboles de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) en San Pablo, Nariño.

2.3.1.2 Árboles apeados

- **Fuste:** se midió su longitud desde la base hasta el ápice con una cinta métrica, éste fue cortado en trozas cilíndricas en donde se tomaron las medidas de longitud, diámetro y peso de cada troza. Se obtuvieron muestras en forma de discos a los cuales se midió la longitud, el diámetro y el peso para determinar la densidad de la madera en esta especie.



Figura 4. Medición de la longitud total de fuste desde su base hasta el ápice en San Pablo, Nariño.

- **Ramas:** se separó las ramas teniendo en cuenta que su diámetro fuera mayor a 0.5 cm, se pesó la totalidad de ramas y se obtuvo una muestra representativa de aproximadamente 500 g la cual se llevó al laboratorio de la Universidad de Nariño.



Figura 5. Muestra de los 500 g de ramas pesadas en una balanza de precisión en San Pablo, Nariño.

- **Ramitas:** fue criterio en esta investigación separar las ramitas teniendo en cuenta que su diámetro sea menor que 0.5 cm, debido a que por ser una especie arbustiva se encontraron ramitas con diámetros muy pequeños, a diferencia del criterio propuesto por Del Valle, et al.⁴⁹, donde tomaron ramitas con diámetros menores a 2.5 cm para la especie *Manilkara sp.* (caimo). Se peso la totalidad de ramitas y se obtuvo una muestra de 500 g que luego fue llevada al laboratorio de la Universidad de Nariño.



Figura 6. Muestra de los 500 g de ramitas pesadas en una balanza de precisión en San Pablo, Nariño.

- **Hojas:** fueron separadas cuidadosamente sin perder material; como en esa época no era tiempo de floración, las flores y frutos encontrados fueron añadidas como peso de las hojas, pesando así la totalidad de hojas y se obtuvo una muestra de 500 g que luego fue llevada al laboratorio.



Figura 7. Separación de ramas, ramitas y hojas de árboles de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) en San Pablo, Nariño.

2.3.1.3 Peso de las muestras en laboratorio

Para la toma de estos datos se tuvo en cuenta el criterio de Pearsus⁵⁰, 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 durante 2 días.

Se obtuvieron los siguientes datos:

- **Peso seco:** luego de permanecer en el horno cada muestra del respectivo órgano se pesó en una balanza de precisión.
- **Biomasa de cada órgano:** para determinar la biomasa de cada órgano se utilizó la ecuación propuesta por Overman y Saldarriaga⁵¹:

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

Donde:

Pso = peso seco de cada órgano (fuste, ramas, ramitas, hojas)

Psm = peso seco de la muestra tomada en cada órgano

Pfm = peso fresco de la muestra

Pfo = peso fresco del órgano

Según Zapata: “la sumatoria de todos los pesos secos de todos los órganos representa la biomasa total del árbol”⁵².

- **Densidad de la madera:** para determinar la densidad de la madera, se llevaron los discos al horno para secado. A cada disco se le midió su diámetro, altura y se pesaron. Los datos tomados se reemplazaron en la siguiente fórmula:

⁵⁰ PEARSUS, citado por SALAZAR y ROSAS., Op. cit. p. 24

⁵¹ OVERMAN y SILDARRIAGA, citados por SALAZAR Y ROSAS. Ibid., p. 25

⁵² ZAPATA, M. Proyecto eficiencia de coberturas vegetales en la asimilación de CO₂. p. 39

$$D = \frac{m}{V}$$

Donde:

D = densidad de la madera
m = peso del disco
v = volumen del disco: (AB * H)
AB = área basal del disco
H = altura del disco



Figura 8. Muestras recolectadas en campo y llevadas al horno en el laboratorio de la Universidad de Nariño.

2.4. ESTIMACION DE CARBONO

Los resultados obtenidos de biomasa fueron multiplicados por un factor que involucró el contenido de Carbono en la biomasa seca (factor de conversión) y la relación entre el peso de la molécula de CO₂ y el peso del átomo de Carbono, como se muestra en la siguiente formula:

$$CO_2 = B * (CC*12/44)$$

Donde:

CO₂ = dióxido de Carbono fijado por la vegetación
B = biomasa seca
CC = contenido de Carbono en la biomasa seca

Para Brown: “el contenido de Carbono (CC) en un gramo de biomasa es igual a 0,5g de Carbono”⁵³, igual lo afirma Smith: “aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye el C”.⁵⁴

2.5. CONSTRUCCION Y SELECCIÓN DE MODELOS DE BIOMASA

Según Zapata: “para determinar el mejor modelo de biomasa que se ajuste a la especie se realizan regresiones en donde las variables posibles que pueden determinar la biomasa de órganos y biomasa total son la altura (h), diámetro (d), área basal (AB) y densidad (D)”.⁵⁵

El modelo alométrico empleado fue el propuesto por Zapata:

$$B = a * X^b$$

Donde:

B = biomasa del componente (hojas, ramas, ramitas, fuste, total aérea)
a y b = parámetros estimados por la regresión
X = variable independiente que puede ser h, d, AB, D

Como forma linealizada del modelo alométrico se utilizó el logaritmo natural (ln), para transformar las regresiones las cuales sirvieron para corregir la heterocedasticidad de los modelos y para incrementar la validación estadística del

⁵³BROWN, S. citado por SALAZAR Y ROSAS, Op. cit., p. 40

⁵⁴SIMTH, T. citado por ORDOÑEZ, Op. cit., p. 14

⁵⁵ZAPATA, M. et al. Estimación de biomasa aérea en los bosques secundarios por el método del árbol medio. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 2003. p.61

análisis, al homogenizar la varianza sobre el rango de datos:

$$\ln(B) = \ln a + b * \ln(x)$$

2.6 COMPARACION DE BIOMASA Y CAPTURA DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES

Para la comparación de la biomasa presente en árboles de Laurel, se confrontó los resultados de los valores promedios de biomasa por órgano y total encontrados en el municipio de San Pablo vs. los valores obtenidos del árbol medio en el Sistema Agroforestal del municipio de Pasto.

2.7 PROPORCIÓN DE BIOMASA AEREA Y RADICAL EN LAUREL DE CERA

Se separó la parte aérea y radical en tres árboles de Laurel con el fin de determinar la proporción de biomasa para estos componentes, a cada uno se le tomó el peso verde y luego se llevó al laboratorio de la Universidad de Nariño para el secado en horno a una temperatura de 80°C durante 2 días con su respectivo peso en seco. Para la proporción se tuvo en cuenta que el total de peso seco del árbol equivale al 100% y el porcentaje de la biomasa aérea y la biomasa radical respectivamente, representa el porcentaje total de biomasa.

2.8 BIOMASA Y CARBONO EN DOS DENSIDADES DE SIEMBRA

Para obtener la variabilidad en el crecimiento de biomasa y Carbono en dos distancias de siembra se tomo la información de altura y área basal a los 2 y 4 años de los trabajos realizados por Gomez⁵⁶, Muñoz⁵⁷ y los obtenidos en este estudio a los 7 años; para estimar la biomasa acumulada en estos tres periodos se tomaron valores de alturas y áreas basales y fueron reemplazados en las ecuaciones obtenidas del anterior procedimiento. Indirectamente se calculó el Carbono acumulado para cada una de las densidades de siembra (4 x 3 y 4 x 4 m).

2.9 ESTIMACION DE LA FIJACION DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES

En el sistema de árboles en línea de la Granja Experimental de Botana, municipio de Pasto se ubicaron tres parcelas de forma circular con área de 250 m² según la

⁵⁶GOMEZ, Op. cit., p. 67

⁵⁷MUÑOZ, Op. cit., p. 36

experiencia de Winrock⁵⁸; cada parcela fue dispuesta al azar teniendo en cuenta su posición geográfica en sus cuatro puntos cardinales determinados con una brújula; cada parcela fue delimitada con estacas permanentes introducidas en el suelo (Anexo 2). Para monitorear la fijación de Carbono se tomaron datos dasométricos de todos los árboles encontrados en cada parcela como altura, diámetro y área basal. En este caso, por cada parcela se contabilizaron 8 árboles, se midió su diámetro a la base del árbol y a los 30 cm, ya que a esta altura sus tallos comenzaban a ramificarse tomando así, cada fuste como individuo.

Se realizó dos monitoreos: la primera medición se realizó en el momento de ser instaladas las parcelas permanentes el 24 de noviembre de 2004. La segunda medición se realizó a los seis meses de haber sido instaladas las parcelas permanentes, el 26 de mayo de 2005.

2.10 CRECIMIENTO DEL LAUREL DE CERA EN EL TIEMPO

Para determinar el crecimiento se realizó los siguientes cálculos matemáticos donde se tomó los datos de la variable (altura) y se dividió en el número de años:

$$\text{Incremento Medio Anual en altura (IMA)} = \frac{\text{altura a determinada edad}}{\text{Número de años}}$$

Para conocer la biomasa total acumulada con tasas de crecimiento crecientes se realizó una inferencia de la edad, conociendo que la altura máxima es de 16 m, reportada en bibliografía por Parra⁵⁹ y las tasas de crecimiento calculadas hasta los 7 años en este estudio, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Edad del árbol} = \frac{\text{altura total lograda en esa edad}}{\text{IMA}}$$

2.11 ANÁLISIS FINANCIERO

Para el análisis financiero se calculo los costos de producción del sistema silvopastoril de San Pablo y del sistema de árboles en línea de Botana, además de los ingresos generados por el servicio de captura de Carbono en 1 ha.

⁵⁸WINROCK, citado por la FUNDACION SOLAR, Op. cit. p. 47

⁵⁹PARRA, C. Revisión taxonómica de la familia myricaceae en Colombia. Bogotá, Colombia: 2003. p. 22

2.11.1 Ingresos operacionales

En el Sistema Agroforestal de San Pablo se calculó el valor total producido por la venta de Carbono con respecto al C acumulado en este sistema (4.12 tonC) y teniendo en cuenta que el valor mínimo por tonelada de C reportado en bibliografía corresponde a US \$12 (\$ 27.600) para noviembre de 2005, el mismo procedimiento se realizó para determinar la venta de C en el Sistema Agroforestal de Botana, Pasto.

2.11.2 Costo de producción

Son todos aquellos costos que incurrieron en los dos Sistemas Agroforestales para la obtención del servicio ambiental y del producto de la Cera desde el establecimiento de los sistemas, hasta obtener el producto final. Forman parte de estos costos la materia prima (plántulas, fertilizantes, insecticidas), los costos indirectos de fabricación (delimitación del área), mano de obra (arado, trazado, plateo, ahoyado, siembra, control fitosanitario, podas).

2.11.3 Gastos

Se determinaron teniendo en cuenta los requerimientos necesarios para la instalación de los Sistemas Agroforestales en los 2 municipios los cuales fueron: alquiler de tractor, transporte y viáticos.

2.11.4 Utilidad

Se calculó la diferencia entre las ventas de Carbono con los costos de producción y los gastos del mismo.

2.11.5 Rentabilidad

Sirvió para medir la eficiencia de los sistemas e identificar cual de estos dos es el más rentable económicamente hasta el momento. Para determinar la rentabilidad se utilizaron las siguientes formulas:

$$RC = \frac{\text{utilidad neta}}{\text{Venta neta}} \times 100$$

Donde:

RC = rentabilidad de Carbono

2.12 SISTEMATIZACION DE LA INFORMACION

Para sistematizar la información se utilizaron los programas estadísticos Excel y Statgraphics, que se constituyeron en una herramienta que permitió la aplicación práctica de los modelos estadísticos, además se obtuvo intervalos de confianza, contrastes de hipótesis, estimaciones no paramétricas, modelos de análisis de varianza y modelos de regresión lineal, múltiple y polinomial.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

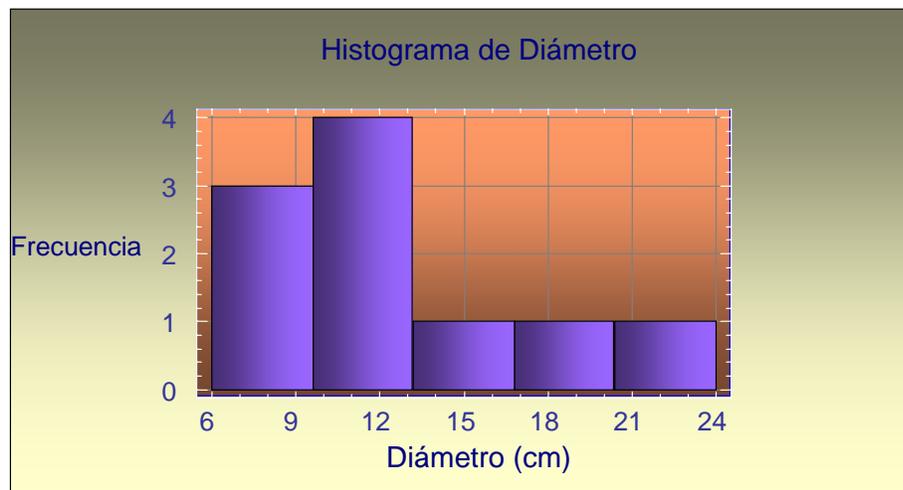
Los resultados obtenidos para los objetivos propuestos de estimación y evaluación de biomasa y Carbono en los Sistemas Agroforestales con Laurel de Cera al igual que el análisis financiero, se explican a continuación.

3.1. DESCRIPCION DE LA POBLACION DE LAUREL EN SAN PABLO

La distribución de las variables dasométricas como diámetro, altura y área basal se resumió en histogramas de frecuencia por categorías.

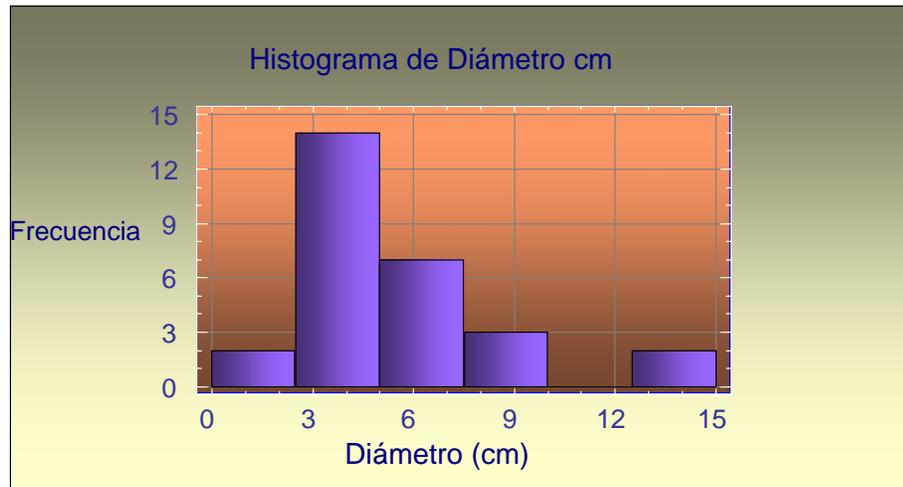
En la figura 9 se observa la distribución de frecuencia por categorías diamétricas de los árboles en el sistema silvopastoril de San Pablo, encontrando diámetros que van desde los 6,0 cm hasta los 21,6 cm, donde el 40% de los árboles presentaron diámetros entre 9.5 y 13 cm y 30% de árboles presentaron diámetros entre 6 cm y 9.5 cm.

Figura 9. Histograma de frecuencias por clases diamétricas para árboles de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) en San Pablo, Nariño.



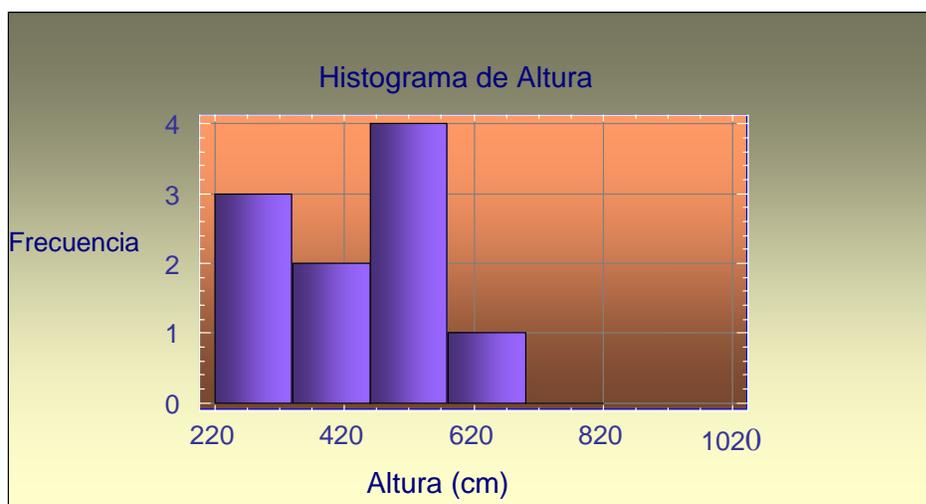
Cuando se analizó la información considerando las ramificaciones como individuos (fustes) se observó que la mayor distribución de frecuencia de diámetros (figura 10) se encuentra entre los 2,5 cm hasta 7,5 cm (75%). Se encontraron pocos fustes con diámetros menores de 3 cm y superiores a 10 cm.

Figura 10. Histograma de frecuencias por clases diamétricas para fustes de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) en San Pablo, Nariño.



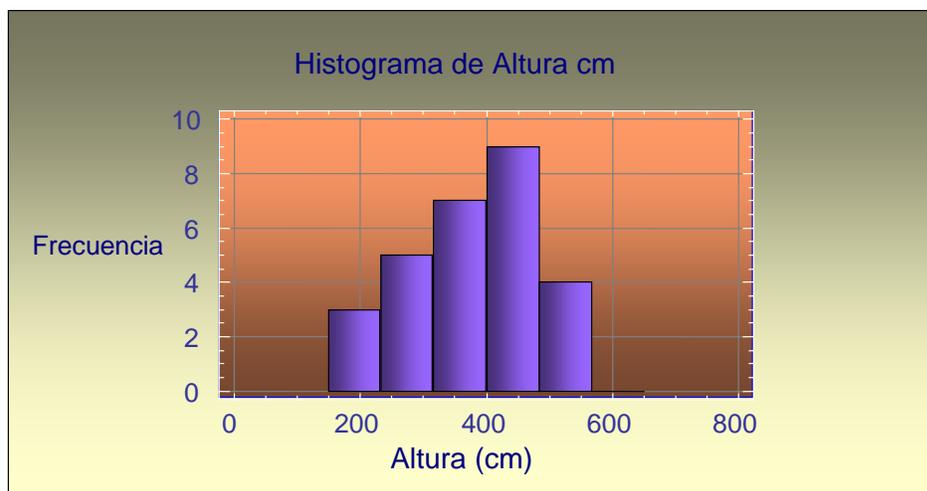
En la figura 11 se observa la distribución de frecuencia altimétricas de árboles de Laurel de Cera, presentando un 40% de árboles con alturas entre 460 y 580 cm, un 30% entre 220 y 330 cm y un 10% con alturas mayores a 580 cm.

Figura 11. Histograma de frecuencias de distribución de la altura para árboles de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) en San Pablo, Nariño.



Para los fustes la distribución de frecuencias de altura (figura 12) en la especie Laurel de Cera demostró que el 32% de los fustes presentaron alturas entre los 400 y 500 cm, un 43% presentó alturas entre 250 y 400 cm, y tan solo un 25% se encontró con alturas menores a 250 cm y mayores a 600 cm.

Figura 12. Histograma de frecuencias de distribución de la altura para fustes de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) en San Pablo, Nariño.



La distribución de frecuencias de Área basal para árboles indicó que el 40% presentó un área basal menor de 80 cm², un 30% con área basal entre 80 y 160 cm² y el otro 30% presentó un área basal entre 160 y 400 cm².

La distribución de frecuencias de la variable Área basal para fustes, donde el 82% de ellos tenían un área basal menores 40 cm² y el 18% presentaron áreas básicas mayores a 110 cm².

3.2 MODELOS DE BIOMASA PARA LOS ÁRBOLES DE LAUREL DE CERA (*Morella pubescens*) EN EL SISTEMA AGROFORESTAL DE SAN PABLO

A continuación se presenta los resultados de los modelos linealizados seleccionados con sus respectivos análisis de varianza para estimar la biomasa aérea total y por órganos de la especie Laurel de Cera (*Morella pubescens*), tanto de los 10 árboles como de los 28 fustes, en los dos Sistemas Agroforestales.

En los modelos polinomiales, la variable predictora fue la altura y no resultó significativa la variable diámetro. Algunos autores (Forero* y del Valle⁶⁰) han descartado la variable altura por ser de difícil medición y mencionan que en zonas tropicales se ha encontrado que la variable independiente que mejor explica la masa seca de un árbol es el diámetro normal y, probablemente, en este estudio se reduce el problema por que la especie es un arbusto el cual puede ser medido fácilmente con vara graduada. En la validación del modelo se encontró que es bueno, ya que no hubo diferencia significativa entre la biomasa observada y la biomasa esperada. La prueba de T student, presentó un valor P de 0,3803437 mayor a 0,05 mostrando que la variabilidad no es estadísticamente significativa para la variable altura de árboles (Anexo 3).

La totalidad de los modelos polinomiales presentaron un coeficiente de determinación alto (R^2 mayor de 95% y cuadrados medios del error bajos – CME menores que 3.6, excepto el modelo de biomasa de ramas y parámetros altamente significativos) para los datos provenientes de los árboles (Cuadro 1) Anexo 4 - 7). Este tipo de modelos no resultaron buenos predictores para la información que provenía de los fustales.

Se encontró que el mejor modelo para explicar el comportamiento de biomasa aérea total y por ende de Carbono en árboles de Laurel de Cera, con la altura como variable predictora, fue el modelo polinomial:

$$Bt = 49767.3 - 259.337 * h + 0.371042 * h^2$$

Donde:

Bt: Biomasa total en g.

h: altura en cm.

*INFORMACION PERSONAL, Luz Amalia Forero, docente vinculada a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño. Pasto, 26 de Abril del 2005.

⁶⁰Del Valle, Op cit., p. 88

Cuadro 1. Modelo de biomasa aérea total y por órganos con transformación polinomial de árboles de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) con la variable predictora altura.

Órgano	Ecuación del modelo $y = a + bx + cx^2$	R ²	P	N	EE	CME	F
Fuste (f)	Bf= 14553,9 - 81,6607*h +0,132508*h ²	98.8677	b 0.0010 c 0.0001	8	18986.3	3.6048	261.94
Hojas (H)	BH=5257,62 - 25,4528*h+0,0325477*h ²	95.8234	b 0.0009 c 0.0003	8	5727.43	3.2803	68.83
Ramas (Rm)	BRm=22926,8 - 115,498*h+0,154051*h ²	97.8898	b 0.0008 c 0.0001	8	8043.45	6.4997	139.17
Ramitas (Rmt)	BRmt=6979,93-36,4794*h+0,0516826*h ²	99.2066	b 0.0001 c 0.0000	8	35861.1	1.2860	375.14
Biomasa Total (BT)	BT=49767,3 - 259,337*h+0.371042* h ²	99.2066	b 0.0001 c 0.0000	8	35861.1	1.2860	375.14

Al probar los modelos lineales resultó significativo (P= 0,0008) un sólo modelo para la biomasa total - BT (modelo para árboles), donde la variable predictora más significativa fue el área basal - AB:

$$\ln (BT) = 8,38003 + 0,00678941*AB \text{ (CME= 0.092)}$$

En la ecuación con área basal, la validación mostró que los datos calculados tienen un promedio diferente a los datos obtenidos en campo de esta variable. Al realizar la prueba de T student se obtuvo un valor P de 0,01405645 indicando que la variabilidad es estadísticamente significativa para esta variable (Anexo 8).

Los modelos alométricos, linealizando los datos con transformaciones logarítmicas, (Cuadro 2) donde el diámetro fue la variable predictora, resultaron altamente significativos para los fustes, mostrando coeficientes de determinación superiores a 70%, excepto para la biomasa de ramas (Anexo 9 – Anexo 12). Con la ecuación de la variable diámetro se demostró que el promedio de los valores observados en campo vs. el promedio de los valores calculados presentan diferencia entre los datos; para evaluar mejor su comportamiento se realizó una prueba de T student (Anexo 13), en donde se observó un valor P de 0,01032918, concluyendo que existe una variabilidad significativa.

Para los fustes el mejor modelo fue:

$$\ln (Bt)=3,5438 + 2,42705 * \ln (d)$$

Donde:

Bt: Biomasa total en g.

d: Diámetro en cm tomada a 30cm de altura desde el suelo

AB: Área basal en cm² tomando el diámetro en la base del árbol

Cuadro 2. Modelos alométricos de biomasa aérea total y por órganos de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) con la variable diámetro.

Órgano	Ecuación del modelo $\ln(y) = a + b \ln(x)$	R ²	P	N	EE	CME	F
Fuste (f)	$\ln(f) = 4,50725 + 1,84117 \cdot \ln(d)$	78.5824	0.0000	26	0.448127	0.200817	91.73
Hojas (H)	$\ln(H) = 1,99732 + 2,03767 \cdot \ln(d)$	71.5947	0.0000	25	0.649333	0.421634	60.49
Ramas (Rm)	$\ln(Rm) = 3,58628 + 2,07305 \cdot \ln(d)$	56.5529	0.0000	25	0.732232	0.536164	31.24
Ramitas(Rmt)	$\ln(Rmt) = 2,79713 + 2,01897 \cdot \ln(d)$	88.5876	0.0000	26	0.366682	0.134456	194.07
Biomasa Total (BT)	$\ln(BT) = 3,5438 + 2,42705 \cdot \ln(d)$	78.0954	0.0000	25	0.599264	0.359118	89.13

Donde:

h = altura

h² = altura al cuadrado

AB = área basal

d = diámetro

R² = Coeficiente de determinación

P = Nivel de significancia

N = tamaño de la muestra

EE = Error estándar

CME = Cuadrado medio del error

F = F- calculado (*95%)

En un estudio realizado por Restrepo, et al., en el departamento de Antioquia, (Colombia), trabajaron con algunas especies de palmas y encontraron que dos variables (diámetro y longitud del estípe) explicaban los mejores modelos para la estimación de la biomasa aérea⁶¹:

$$\ln(BA) = -2.635 + 2.067 \cdot \ln(D) + 0.70 \cdot \ln(L)$$

$$\ln(BA) = -2.249 + 0.861 \cdot \ln(D^2 \cdot L)$$

Donde:

BA = Biomasa aérea

D = Diámetro normal (cm)

L = Longitud del estípe

⁶¹ RESTREPO, et al., Ecuaciones de biomasa para palmas del subdosel y sotobosque. En: medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia. Contribuciones para la mitigación del cambio climático. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos, 2003. p 130

Este hecho demuestra la necesidad de estudios particulares para cada especie de planta, y probablemente, los resultados en cada una demuestran que la biomasa responde a diferentes condiciones climáticas y que la alometría sea de carácter genética.

En la figura 13 se muestra la curva ajustada del modelo polinomial de segundo orden de la relación entre biomasa total de árboles y la altura. Como puede observarse el patrón no mostró heterocedasticidad, posiblemente porque los árboles tenían la misma edad. El valor de la probabilidad (0.000) en el análisis de varianza es menor de 0.05 con una confianza del 95% lo cual indicó una relación estadísticamente significativa entre biomasa total y la altura, el estadístico R^2 indicó que el modelo explica el 99.21% de la variabilidad de la biomasa total. El error estándar de la estimación mostró la desviación típica de los residuos de 35061, éste valor se usó para construir los límites de predicción del resto de las observaciones. El modelo se ajustó con 10 datos de los cuales se excluyó una observación cuyos residuales estandarizados tuvieron valores absolutos mayores a tres. (Anexo 14)

En la figura 14 se muestra la línea ajustada al modelo alométrico con transformación logarítmica de la variable biomasa aérea Total de los 10 árboles vs. Área basal. El valor de probabilidad (0.0008) en el análisis de varianza indicó una relación estadísticamente significativa entre biomasa total aérea y Área basal, el estadístico R^2 indica que el modelo explica el 82.05% de la variabilidad. El coeficiente de correlación es igual 0.7941, indicando una fuerte relación entre las variables.

El error estándar de la estimación mostró la desviación típica de los residuos de 0.3038, este valor se usó para construir los límites de predicción para el resto de las observaciones. El modelo se ajustó con 10 datos de los cuales se excluyó una observación cuyos residuales estandarizados tuvieron valores absolutos mayores a tres (Anexo 15)

En la figura 15 se muestra la línea ajustada al modelo alométrico con transformación logarítmica de las variables biomasa aérea Total de los fustes vs. Diámetro. El valor de P (0.000) indicó una relación estadísticamente significativa entre biomasa total de fustes y el diámetro, el estadístico R^2 indicó que el modelo explica el 78.09% de la variabilidad de la biomasa total. El coeficiente de correlación es 0.8837. El error estándar fue de 0.5993, usando este valor se construyeron los límites de predicción del resto de las observaciones. (Anexo 16). El modelo se ajustó con 28 datos de los cuales se excluyó una observación cuyos residuales estandarizados presentaron valores absolutos mayores a tres.

Figura 13. Modelo alométrico polinomial de la forma $Y = a + bx + cx^2$, ajustado por regresión para la relación de biomasa total (BT) vs. altura (h), para árboles del sistema silvopastoril en San Pablo.

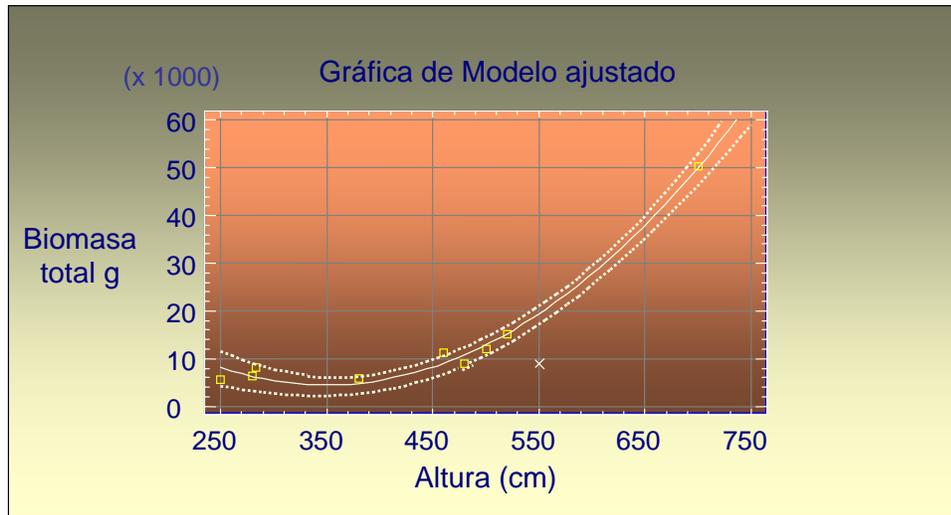


Figura 14. Modelo alométrico simple de la forma $Y = a + bx$, ajustado por regresión para la relación de biomasa Total (BT) vs. Área basal (AB), para árboles del sistema silvopastoril de San Pablo.

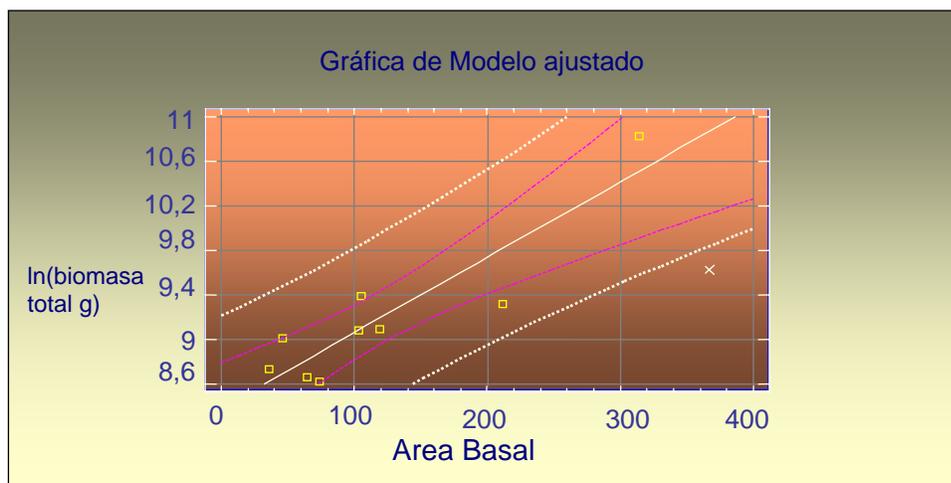
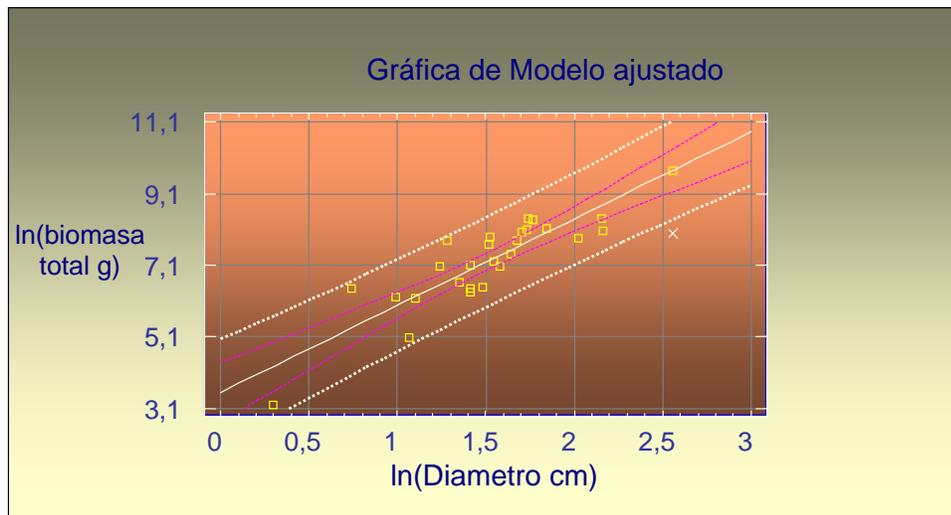


Figura 15. Modelo alométrico simple de la forma $Y= a + bx$, ajustado por regresión para la relación de biomasa Total (BT) vs. Diámetro (d), para los fustes del sistema silvopastoril en San Pablo.



3.3. ACUMULACION DE BIOMASA Y FIJACION DE CARBONO

El sistema silvopastoril de San Pablo con la especie Laurel de Cera (*M. pubescens*), a los siete años de edad acumuló una biomasa aérea total de 4,03 toneladas y de 2,01 toneladas de Carbono que están presentes en el área evaluada (0.4 ha, 308 árboles). Salazar y Rosas⁶², reportaron que en 0.2 hectáreas para el Sistema Agroforestal cercos vivos (*Baccharis latifolia*, *Verbesina arborea*, *Cestrum tumentosum*, *Rubus glaucus* y *Miconia sentinodiu*) en Pasto (N), acumuló una biomasa de 3.86 ton y de 1,96 ton de Carbono.

En una hectárea a una densidad de siembra de 4 x 4m (625 árboles/ha) se calculó que la cantidad de biomasa acumulada es de 8.24 ton y la cantidad de Carbono acumulado en la misma hectárea sería de 4.12 ton/ha (Cuadro 3). Salazar y Rosas⁶³ reportan que para una hectárea de cercos vivos la biomasa es de 19.30 ton y 9.65 ton de C.

⁶²SALAZAR y ROSAS, Op. cit., p. 66

⁶³Ibid., p. 66

En el sistema de árboles en línea del Centro de Investigaciones de Botana, Universidad de Nariño se estableció que la cantidad de biomasa presente en un área de 0.29 ha (81 árboles) en 5 años de edad de los mismos fue 1.01 ton y 0.5 ton de Carbono acumulado.

Para una hectárea con una densidad de siembra de 6 x 6 m se estimó que la biomasa y el Carbono acumulada podría ser de 3.45 ton y 1.73 ton, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 3. Cantidad de biomasa y Carbono acumulado en los componentes (hojas, ramas, ramitas, fuste y biomasa total) en árboles de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) en el sistema silvopastoril del municipio de San Pablo.

Órgano	Promedio de biomasa aérea en g por árbol	Biomasa en tn/ha	Carbono en tn/ha
Hojas	873,79	0,546	0,273
Ramitas	1683,97	1,052	0,526
Ramas	4360,52	2,725	1,363
Fuste	6266,735	3,917	1,958
Biomasa Total	13185,015	8,24	4,12

En el sistema silvopastoril, la biomasa de hojas corresponde a 6.63% de la biomasa total del árbol, las ramitas en un 12.77%, la biomasa de ramas corresponde al 33.07% y el fuste en un 47,51% de la biomasa aérea total del árbol.

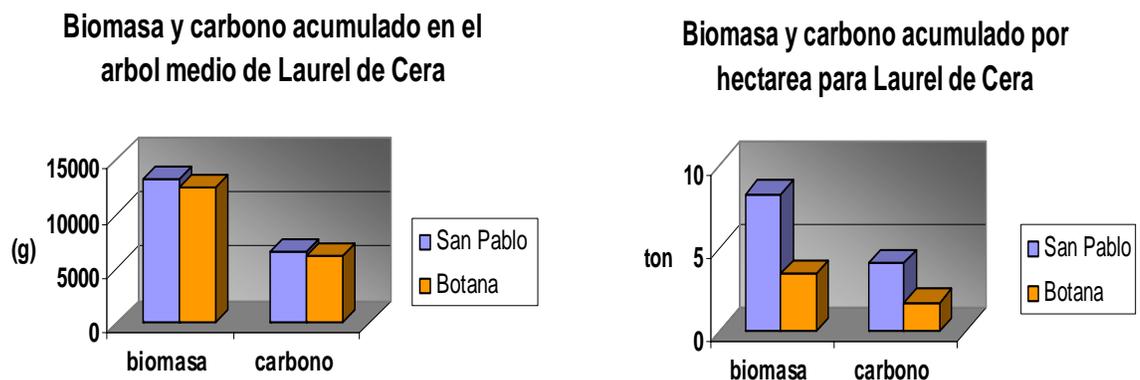
Cuadro 4. Cantidad de biomasa y Carbono acumulado en los componentes (hojas, ramas, ramitas, fuste y biomasa total) en árboles de Laurel de Cera (*Morella pubescens*) en el Sistema Agroforestal del municipio de Pasto.

Órgano	Promedio de biomasa aérea en g por árbol	Biomasa en tn/ha	Carbono en tn/ha
Hojas	3359,44	0.012	0.005
Ramitas	2589,26	0.008	0.004
Ramas	3891,41	0.013	0.006
Fuste	2587,7	0.008	0.004
Biomasa Total	12427,8	3.45	1.73

En el sistema de árboles en línea, la biomasa de hojas corresponde a 27% de la biomasa total del árbol, las ramitas en un 20.8%, la biomasa de ramas corresponde al 31.3% y el fuste en un 20.8% de la biomasa aérea total del árbol.

En la figura 16, se muestra la diferencia en la acumulación de la biomasa y el Carbono. Como puede observarse en la figura izquierda la diferencia de acumulación por árbol no es significativa entre los sitios. En la figura de la derecha se puede observar una diferencia significativa en la acumulación, indicando que esta ésta dada por la cantidad de árboles por hectárea del sistema: para el caso de San Pablo en número de árboles fue de 625 y en el caso de Botana fue de 278.

Figura 16. Graficas de Biomasa y Carbono en los Sistemas Agroforestales del Departamento de Nariño



3.4 PROPORCIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y RADICAL EN ÁRBOLES DE LAUREL DE CERA (*Morella pubescens*)

En el Cuadro 5 se muestra la proporción de biomasa aérea y biomasa radical de los árboles de Laurel de Cera (*Morella pubescens*), del 70% y 30% respectivamente, constituyéndose las raíces en un porcentaje importante de acumulación de biomasa total; según Saldarriaga et.al.,⁶⁴ presentan datos similares en un estudio de biomasa de raíces de 30.5% y 33% con respecto a la biomasa total del árbol, realizado en diferentes bosques tropicales.

⁶⁴SALDARRIAGA et.al., citado por del Valle, p. 171

Cuadro 5. Proporción de biomasa aérea y biomasa radical en árboles de Laurel de Cera (*Morella pubescens*).

COMPONENTE	ÁRBOL 1	ÁRBOL 2	PROMEDIO
Peso aérea(g)	8,7	55,8	
Peso raíz (g)	4	21,8	
Porcentaje aéreo	68.5%	71.9%	70%
Porcentaje radical	31.5%	28.1%	30%

3.5 DIFERENCIA DE BIOMASA Y CARBONO ENTRE LAS DOS DISTANCIAS DE SIEMBRA

Con el modelo de mejor predicción (polinomial, altura como variable de predicción) se estimó la biomasa aérea total de cada densidad de siembra (4 x 3m y 4 x 4m) en el sistema silvopastoril de San Pablo, luego se comparó estas estimaciones. Para determinar la variación existente entre las dos distancias de siembra se realizó una prueba de T student (Anexo 17), resultando un valor P de 0,79187228 lo que demuestra que no existe diferencia significativa entre las densidades (por consiguiente tampoco en la cantidad de Carbono acumulado) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Cantidad de Biomasa total en árboles de Laurel de Cera, a dos densidades de siembra en San Pablo, Nariño.

Edad	Altura (cm) Distancia 4 X 4	Biomasa acumulada Distancia 4 X 4	Altura(cm) Distancia de 4 X 3	Biomasa acumulada Distancia de 4 X 3
18 meses	27,41	42937,63969	29,98	42325,86944
	83,09	30780,64338	76,67	32065,02428
	65,49	34374,69678	61,15	35296,28815
	PROMEDIO	36030,99328		36562,39396
24 mes	177,2	15463,44303	167,3	16765,42204
48 meses	180	15108,4008	175	15746,48625
	224	10293,21539	266	7037,105752
	242	8737,449688	231	9659,625162
	PROMEDIO	11379,68863		10814,40572

Igualmente se realizó en el mismo sistema una comparación de cantidad de biomasa en las dos distancias de siembra, utilizando el modelo alométrico con la variable predictora Área Basal de árboles de Laurel de Cera. Para determinar la relación que existe entre los valores de las dos distancias de siembra se realizó una prueba de T student (Anexo 18), la cual presentó un P valor de 0,55157745 no existiendo una diferencia significativa entre la biomasa presente en las dos distancias (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cantidad de Biomasa total en árboles de Laurel de Cera a dos densidades de siembra, con la variable área basal en San Pablo, Nariño.

Edad	Área Basal Distancia 4 X 4	Biomasa acumulada Distancia 4 X 4	Área Basal Distancia de 4 X 3	Biomasa acumulada Distancia de 4 X 3
24 meses	0,118234096	0,546991792	0,093479735	0,432469564
	4,679665849	21,64975156	3,610179923	16,70194004
	2,522059309	11,66791801	2,177247298	10,07269848
	PROMEDIO	11,28822046		9,069036028
48 meses	18,09513216	83,71433524	21,23664816	98,24807399
	33,18226275	153,5126156	34,21110924	158,2724151
	29,22395259	135,2001048	19,634475	90,83586723
	PROMEDIO	124,1423519		115,7854521

3.6 BIOMASA ACUMULADA A LOS SEIS MESES DE MONITOREO EN BOTANA, MUNICIPIO DE PASTO.

Con la ecuación $BT=49767,3 - 259,337*h + 0,371042*h^2$, determinado como el mejor modelo, se remplazó los valores de las observaciones de alturas tomadas en árboles de tres parcelas de monitoreo establecidas en la Granja de Botana en el sistema de árboles en línea, obtenidos en mayo de 2005.

Los resultados mostraron valores menores de biomasa aérea total a los calculados en noviembre del 2004, presentando una diferencia negativa, con poca lógica biológica, que demuestra que este modelo no puede ser empleado para estimar esta variable en las condiciones de Botana, posiblemente debidas a las diferencias climáticas de las zonas estudiadas (Anexo 19)

Cuando se empleó la ecuación $\ln(BT) = 8,38003 + 0,00678941*AB$, se observó una mejor predicción de la biomasa aérea total, determinándose un incremento

promedio de 164,81 g de biomasa total con un porcentaje de acumulación de 27.50% (Anexo 20).

Igualmente al emplear la ecuación $\ln(T)=3,5438+2,42705*\ln(d)$, en las parcelas establecidas, se observó un incremento promedio de 248,11 g y un porcentaje de 26.33% de crecimiento (Anexo 21).

3.7 CRECIMIENTO DEL LAUREL DE CERA (*Morella pubescens*) EN EL TIEMPO

Para encontrar el promedio de crecimiento del Laurel a lo largo de los años se tomó los datos de altura obtenidos por Gómez⁶⁵ y los datos obtenidos en campo por este estudio.

En el Cuadro 8 se observa que la tasa de crecimiento (o incremento medio anual-IMA) de altura para árboles de Laurel de Cera fue de 0.67 m por año.

El dato de IMA permitió establecer que de seguir esa tendencia un árbol podría crecer durante 24 años para lograr una altura de 16 m (altura que se ha reportado como máxima para este arbusto).

Cuadro 8. Crecimiento en altura e Incremento Medio Anual (IMA) en árboles de Laurel de Cera, San Pablo, Nariño.

AÑOS	ALTURA	IMA
2 (Gómez)	1,723	0,862
4 (Gómez)	2,078	0,519
7 (Este estudio)	4,403	0,629
PROMEDIO		0,670

3.8 DENSIDAD y USO DE LA MADERA

Para la especie Laurel de Cera (*Morella pubescens*) se determinó una densidad de la madera de 0.6 g/cm³, caracterizándose la especie como poco densa o liviana. Según la Junta de Acuerdo de Cartagena, estas maderas son denominadas de utilidad general y pueden ser utilizadas como madera de carpintería y decorativas. También pueden utilizarse de formas impresas como molduras, marquesinas, tapa marcos, etc.

⁶⁵ GOMEZ, Op.cit., p.29

Este tipo de madera no es muy durable en clima tropical pero con un conveniente tratamiento puede utilizarse en construcción con éxito⁶⁶.

3.9 ANALISIS FINANCIERO

En el estado de resultados obtenido para el sistema silvopastoril de San Pablo (cuadro 9) se concluyó que el valor de las ventas de Carbono es \$113.712 para 4.12 ton C/ha (625 árboles/ha), mientras que las ventas en el sistema de árboles en línea en Pasto fueron \$ 47.748 para 1.73 ton C/ha (278 árboles/ha). Esto pudo suceder debido a la diferencia de edades de los árboles ya que el de San Pablo tenía 7 años y el de Pasto tenía 5 años de edad hasta ese momento momento; también pudo deberse a la diferencia en las distancias de siembra ya que a mayor densidad de siembra mayor número de árboles y por ende mayor cantidad de biomasa y Carbono.

Cuadro 9. Estado de resultados del análisis financiero realizado para una hectárea en los municipios de San Pablo y Pasto, respectivamente.

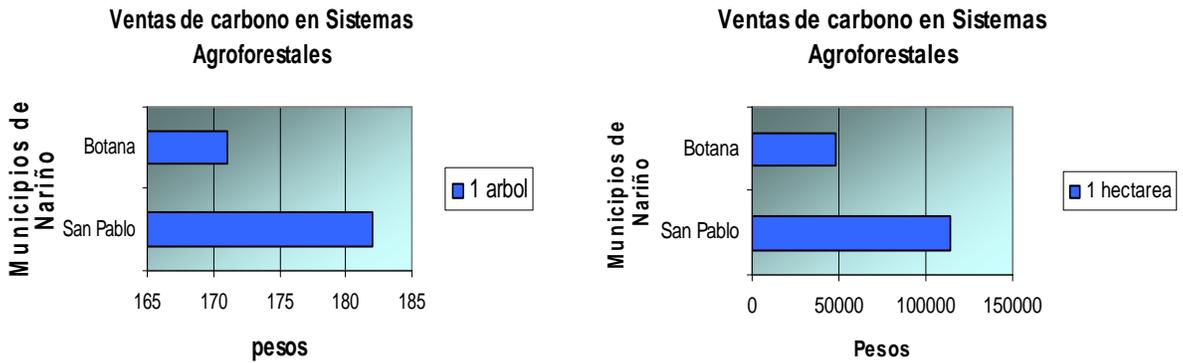
COSTO Y UTILIDADES DE CARBONO PARA LOS SISTEMAS AGROFORESTALES		
INGRESOS OPERACIONALES	SAN PABLO	BOTANA
VENTAS PRESUPUESTADAS DE C	113.712	47.748
COSTO DE PRODUCCION	- 6.370.700	- 3.225.007
UTILIDAD Y/O PERDIDA BRUTA	- 6.256.988	- 3.177.259
GASTOS	1.285.000	1.285.000
UTILIDAD Y/O PERDIDA NETA	- 7.541.988	- 4.462.259

La rentabilidad y la utilidad o perdida neta en los dos Sistemas Agroforestales mostró un resultado negativo económicamente con respecto a las ventas de Carbono; por lo contrario para Muñoz⁶⁷ la utilidad que proporciona la venta de Cera es altamente positiva ya que genera ganancias por hectárea de hasta US \$61.186 (\$140'727.800) según resultados de un estudio económico; pero ambientalmente la ganancia con respecto a la captura de Carbono es alta debido al alto potencial que tiene la especie para fijarlo en sus estados juveniles. Es importante aclarar que el servicio ambiental es una salida más de todas las del sistema, es por eso que el Carbono si se lo vendiera, se convierte en un ingreso económico más de los Sistemas Agroforestales.

⁶⁶ JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA, Op. cit., p. 1-20

⁶⁷ MUÑOZ. Op. cit., p. 106

Figura 17. Graficas de las ventas en pesos por toneladas de Carbono en Sistemas Agroforestales de Nariño



3.10 SIMULACION DE UN PROYECTO DE INVERSION PARA EL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO EN 1 HECTAREA EN EL MUNICIPIO DE SAN PABLO, NARIÑO

3.10.1 Descripción del producto: El Carbono se encuentra presente en la vegetación, dice Fragoso “debido a procesos fotosintéticos, los árboles toman CO₂ del aire lo combinan con hidrogeno que obtienen del agua del suelo utilizando la energía almacenada en los cloroplastos y a partir de estos se sintetizan los carbohidratos básicos que al combinarse con otros elementos minerales del suelo pueden ser utilizados para aumentar el tamaño de los órganos vegetales”⁶⁸.

3.10.2 Formas de consumo: los árboles se caracterizan por ser sumideros y reservorios de Carbono. Estos a través del tiempo y con el incremento de biomasa de la vegetación van capturando mayor cantidad de Carbono y esto se convierte en certificados de emisiones reducidas que los países contaminantes pagan por cada tonelada de Carbono reducida.

3.10.3 Canales de comercialización: los más importantes son organizaciones no gubernamentales, la gestión de proyectos por parte del ministerio del medio ambiente y en general, la nación.

⁶⁸FRAGOSO LOPEZ, P. Op. cit., p. 6

Según la secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable: “El mercado mayorista son los países de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en adelante "la Convención", aprobada en Nueva York el 9 de mayo de 1992”⁶⁹.

3.10.4 Requerimientos de otros recursos e inversión

- Terrenos: el proyecto se visualiza para 1 hectárea.
- Mano de obra: por cada hectárea se requieren 20 jornaleros, todos ellos con buen conocimiento de agricultura. La estimación de su costo se presenta en el cuadro de presupuesto de mano de obra.
- Maquinaria y equipo: para el proyecto se necesita de herramientas de uso frecuente en agricultura como carretilla, palas, machetes, bomba de aspersión y eventualmente una motosierra y balanzas electrónicas.
- Muebles y encerres: se utilizaría papelería y un equipo de cómputo.
- Otros gastos pre-operativos: la puesta en marcha y los imprevistos

3.10.5 Presupuestos de inversiones: los costos presentados a continuación son proyectados para 1 hectárea.

3.10.5.1 Capital de trabajo: La mayor parte de la inversión inicial esta conformada por el capital de trabajo obtenido a través de la aprobación del proyecto, es decir, de los gastos del primer año tanto en materias primas e insumos como en mano de obra y en todos los demás gastos directos e indirectos de producción, los gastos de mantenimiento de los años siguientes como mano de obra y la evaluación y determinación de Carbono como alquiler de equipos y mano de obra. El año 0 es de organización y puesta en marcha.

3.10.5.2 Inversión inicial

- **Requerimiento de materia prima:** la materia prima que necesitamos son básicamente las plántulas de Laurel de Cera, los insumos como abonos, fertilizantes e insecticidas que se realizaran semestralmente en los primeros años (Cuadro 10).

⁶⁹ SECRETARIA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE. Convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático. Protocolo de Kyoto. [en línea]. [Citado el 13 de agosto de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.medioambiente.gov.ar/acuerdos/convenciones/unfccc/ccprokio.htm>

Cuadro 10. Requerimiento de materia prima e insumos

DETALLE	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
Plántulas	312.500	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	204.000	214.342	225.209	236.627	248.624	261.229	274.473	288.388
Insecticida	209.600	220.226	231.391	243.122	255.448	268.399	282.007	296.305
Agua	100.000	105.070	110.397	115.994	121.875	128.054	134.546	141.367
Total ppto de insumos	825.500	539.639	566.999	595.746	625.950	657.685	691.029	726.064

- **Costos indirectos de fabricación (C.I.F.):** aquellos costos que no participan directamente en la transformación del servicio de captura de Carbono, pero son importantes para su realización (Cuadro 11).

Cuadro 11. Costos indirectos de fabricación

DETALLE	CANT.	V. UNIT	V. TOTAL
Alambre de púas	15 rollos	30.500	457.000
Postes	140	1.500	210.000
Tubos de PVC	4 tiros	13.000	52.000
TOTAL COSTOS INDIRECTOS			719.000

- **Requerimiento de mano de obra directa contratación de jornales:** esta representada en jornaleros con el fin de evitar el pago de prestaciones sociales y así disminuir el costo de este rubro (Cuadro 12).

Cuadro 12. Requerimiento de jornales

DETALLE	JORNAL	VALOR	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
Arado	1	13.000	13.000	0	0	0	0	0	0	0
Trazado	2	13.000	26.000	0	0	0	0	0	0	0
Plateo	3	13.000	39.000	40.977	43.054	45.237	47.530	49.940	52.472	55.132
Ahoyado	5	13.000	65.000		0	0	0	0	0	0
Siembra	5	13.000	65.000		0	0	0	0	0	0
Fertilización	8	13.000	104.000	109.273	114.813	120.634	126.750	133.176	139.928	147.022
Control fitosanitario	12	13.000	156.000	163.909	172.219	180.950	190.124	199.763	209.891	220.532
Podas	2	13.000	26.000	27.318	28.703	30.158	31.687	33.293	34.981	36.754
TOTAL			494.000	300.500	315.735	331.742	348.561	366.233	384.801	404.310

- **Presupuesto de gastos indirectos de producción:** son todos aquellos gastos que son necesarios para poner en marcha el proyecto pero que no serán utilizados permanentemente como el alquiler del tractor para el arado, la motosierra para el apeo de los árboles, las balanzas para el pesaje del material vegetal y equipos de laboratorio (Cuadro 13).

Cuadro 13. Total gastos indirectos de producción

FIJOS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
Honorarios Vigilancia	1.440.000	1.513.008	1.589.717	1.670.315	1.755.000	1.843.978	1.937.467	2.035.697
Honorarios Accesoría Técnica	3.000.000	0	0	0	0	0	0	0
Alquiler del tractor	250.000	0	0	0	0	0	0	0
Servicios públicos	30.000	31.521	33.119	34.798	36.562	38.415	40.362	42.408
Gastos legales	85.000	0	0	0	0	0	0	0
Total fijos	4.805.000	1.544.529	1.622.836	1.705.113	1.791.562	1.882.393	1.977.829	2.078.105
VARIABLES	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
Transporte	700.000	0	0	0	0	0	0	0
Gastos de viaje (viáticos)	250.000	0	0	0	0	0	0	0
Gastos representación	100.000	0	0	0	0	0	0	0
Papelería	500.000	525.350	551.985	579.970	609.374	640.269	672.730	706.837
Diversos: pintura, brochas, guantes.	92.000 4.500 60.000							
Transporte urbano	50.000	52.535	55.198	57.996	60.936	64.025	67.271	70.681
Total variables	1.756.500	577.885	607.183	637.966	670.310	704.294	740.001	777.518
TOTAL GASTOS	6.561.500	2.122.414	2.230.019	2.343.079	2.461.872	2.586.687	2.717.830	2.855.623

- **Requerimiento de herramientas y equipos:** las herramientas que se necesitan son palas, bombas de aspersión, machetes, carretillas, equipo de cómputo y papelería (Cuadro 14).

Cuadro 14. Compra de activos fijos

DETALLE	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL AÑO 0
Terreno	1 hectárea	8.000.000	8.000.000
		TOTAL	8.000.000
HERRAMIENTAS			
Carreta buggy	1	200.000	200.000
Machetes	10	8.900	89.000
Palas	8	9.800	78.400
Azadón	4	16.800	67.200
Barretón	4	15.800	63.200
Rastrillos	8	3.500	28.000
Regaderas	5	15.000	75.000
Bombas de aspersión	2	120.000	240.000
Mangueras	100 metros	1.600	160.000
Tijeras podadoras	5	12.000	60.000
Cintas métricas	5	18.500	92.500
Cintas diamétricas	5	25.000	125.000
Pie de rey	5	7.850	39.250
Mira	3	100.000	300.000

Brújula	2	35.000	70.000
		TOTAL	1.687.550
EQUIPOS DE OFICINA	1 computador	3.000.000	3.000.000
		TOTAL	3.000.000
TOTAL COMPRA ACTIVOS FIJOS			12.687.550

Cuadro 15. Consolidación de requerimientos

DETALLE	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
Requerimiento de materias primas e insumos	825.500	539.639	566.999	595.746	625.950	657.685	691.029	726.064
Requerimiento de mano de obra	494.000	300.500	315.735	331.742	348.561	366.233	384.801	404.310
Requerimiento gastos indirectos de producción	6.561.500	2.122.414	2.230.019	2.343.079	2.461.872	2.586.687	2.717.830	2.855.623
Requerimiento de activos fijos	12.687.550	0	0	0	0	0	0	0
Total requerimiento por años	20.606.650	2.962.553	3.112.753	3.270.567	3.436.383	3.610.605	3.793.660	3.985.997
Total requerimientos								44.741.168

3.10.5.3 Estado de costos de producción presupuestado: En este estado financiero se calculó los costos para producir el Carbono que capturara el árbol en los respectivos años de crecimiento, obteniendo un costo de ventas, que sería el precio al cual se debería vender el Carbono para no generar una pérdida en el proyecto. (Cuadro 16)

3.10.5.4 Estado de resultados (pérdidas o ganancias): En el cuadro 17 se observa el estado de resultados de los años 0 a 7 de una plantación de Laurel de Cera, en donde obtenemos pérdidas en cada uno de los años evaluados debido a que la cantidad de Carbono que se vendería es muy inferior a los costos de producción del mismo.

3.10.5.5 Balance inicial: En el cuadro 18 se muestran los activos, pasivos lo que en este caso no se tiene y el patrimonio siendo la misma cantidad de los activos.

3.11 ANALISIS FINANCIERO (1 ha)

3.11.1 Indicadores de rendimiento: Denominados también de rentabilidad, sirven para medir la efectividad del proyecto y controlar los costos y gastos, para convertir las ventas en utilidades. Se aplican al Estado de Resultados.

Margen bruto de rentabilidad para un año es de -129052%, y para 7 años es de 711.23 %

No es viable aplicar estas formulas por cuanto este proyecto no se enfoca a generar unas utilidades brutas como se observa en los estados de resultados en diferentes años el valor de venta del Carbono es menor a los costos que se requieren para producirlo.

Margen neto para un año es igual a -512153.53 % y para tres años es de 100163.85%

Aunque el estado de Resultados del año 3 arroja utilidades no es factible aplicar la formula como instrumento de medida ya que la utilidad esta representada en un gran porcentaje por la venta de la Cera, lo cual se pretende darle un uso adicional a los árboles de Laurel aparte de producción de Carbono. Esto encaminado a que el proyecto obtenga un ingreso adicional que le permita tener algo de liquidez.

1 HECTAREA

Cuadro 16. Estado de costos de producción presupuestado.

ESTADO DE COSTOS DE PRODUCCION PRESUPUESTADO								
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
COSTO MATERIA PRIMA	825.500	539.639	566.999	595.746	625.950	657.685	691.029	726.064
COSTO M.O.D.	494.000	300.500	315.735	331.742	348.561	366.233	384.801	404.310
COSTOS INDIRECTOS PRODUCCION (C.I.F)	719.000	-	-	-	-	-	-	-
COSTO TOTAL DE PRODUCCION	2.038.500	840.139	882.734	927.488	974.511	1.023.918	1.075.830	1.130.374
MAS INVENTARIO INICIAL PRODUCTOS TERMINADOS	0	350.000	350.650	351.272	357.115	364.230	418.365	451.979
MENOS INVENTARIO FINAL PRODUCTOS TERMINADOS	0	350.650	351.272	357.115	364.230	418.365	451.979	485.240
COSTO DE VENTAS PRESUPUESTADO	2.038.500	839.489	882.112	921.645	967.396	969.783	1.042.216	1.097.113

Cuadro 17. Estado de resultados

ESTADO DE RESULTADOS PRESUPUESTADO								
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
INGRESOS OPERACIONALES								
VENTAS PRESUPUESTADAS	-	650	1.272	7.115	14.230	68.365	101.979	135.240
COSTO DE VENTAS PRESUPUESTADO	- 2.038.500	- 839.489	- 882.112	- 912.645	- 967.396	- 969.783	- 1.042.216	- 1.097.113
UTILIDAD Y/O PERDIDA BRUTA PRESUPUESTADA	- 2.038.500	- 838.839	- 880.840	- 905.530	- 953.166	- 901.418	- 940.237	- 961.873
GASTOS	6.561.500	2.490.159	2.616.410	2.749.062	2.888.439	3.034.883	3.188.751	3.350.421
UTILIDAD Y/O PERDIDA OPERACIONAL	- 8.600.000	- 3.328.998	- 3.497.250	- 3.654.592	- 3.841.605	- 3.936.301	- 4.128.988	- 4.312.294
OTROS INGRESOS (VENTA CERA)	-	-	1.006.250	10.781.250	26.054.687	41.328.125	56.601.562	71.875.000
UTILIDAD Y/O PERDIDA NETA	- 8.600.000	- 2.961.253	- 2.491.000	7.126.658	22.213.082	37.391.824	52.472.574	67.562.706

Cuadro 18. Balance General

BALANCE GENERAL PRESUPUESTADO								
ACTIVO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
CORRIENTE								
CAJA	5.000.000	3.000.000	2.000.000	2.200.000	1.800.000	1.500.000	1.100.000	1.000.000
INVENTARIOS (VR. ARBOL MAS CARBONO)	350.000	350.650	351.272	375.115	364.230	418.365	451.979	485.240
TOTAL ACTIVO CORRIENTE	5.350.000	3.350.650	2.351.272	2.575.115	2.164.230	1.918.365	1.551.979	1.485.240
PROPIEDAD PLANTA Y EQUIPO	12.687.550	12.687.550	12.687.550	12.687.550	12.687.550	12.687.550	12.687.550	12.687.550
(-) DEPRECIACION ACUMULADA 10%	- 1.268.755	- 2.537.510	- 3.806.265	- 5.075.020	- 6.343.775	- 7.612.530	- 8.881.285	-10.150.040
TOTAL PROPIEDAD PLANTA Y EQUIPO	1.418.795	10.150.040	8.881.285	7.612.530	6.343.775	5.075.020	3.806.265	2.537.510
TOTAL ACTIVO	16.768.795	13.500.690	11.232.557	10.187.645	8.508.005	6.993.385	5.358.244	4.022.750
PASIVOS	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL PASIVO	-	-	-	-	-	-	-	-
PATRIMONIO								
CAPITAL								
APORTES ENTIDAD FINANCIADORA	25.406.895	16.829.688	12.697.807	- 8.657.763	-55.150.390	-101.570.314	-140.512.768	-149.164.956
RESULTADOS DEL EJERCICIO (UTILID. PERD NETA)	- 8.600.000	- 2.961.253	- 3.497.250	9.282.908	27.424.020	45.657.449	63.792.887	81.937.706
TOTAL PATRIMONIO	16.768.795	13.500.690	11.232.557	10.187.645	8.508.005	6.993.385	5.358.244	4.022.750
TOTAL PASIVO MAS PATRIMONIO	16.768.795	13.500.690	11.232.557	10.187.645	8.508.005	6.993.385	5.358.244	4.022.750

4. CONCLUSIONES

En el Sistema Agroforestal del municipio de San Pablo se encontró una mayor cantidad de biomasa y fijación de Carbono, en una área de 4108 m² se acumularon 4.02 toneladas de biomasa con 2.01 toneladas de Carbono fijadas debido a que los árboles se encontraron a menor distancia de siembra; proyectándolo a una hectárea se estima que contenga 8.24 toneladas de biomasa y 4.12 toneladas de Carbono por Ha. Por lo contrario, para el Sistema Agroforestal del municipio de Pasto la biomasa acumulada en un área de 2916 m² fue de 1.01 ton y el Carbono almacenado fue de 0.51 ton de Carbono; extrapolado a una hectárea se estima un biomasa de 3.45 ton y 1.73 ton de Carbono acumulado.

Se encontró que el mejor modelo para explicar el comportamiento de biomasa aérea total y por ende de Carbono en árboles de Laurel de Cera, con la altura como variable predictora, fue el modelo polinomial: $Bt = 49767.3 - 259.337 * h + 0.371042 * h^2$.

En la validación del modelo $Bt = 49767.3 - 259.337 * h + 0.371042 * h^2$ se encontró que es bueno ya que no hubo diferencia significativa entre la biomasa observada y la biomasa esperada para el sistema silvopastoril de San Pablo, pero en el sistema de árboles en línea del municipio de Pasto al utilizar este modelo no presento resultados positivos.

La diferencia de acumulación por árbol medio en los Sistemas Agroforestales no es significativa entre los sitios, pero si existe una diferencia significativa en la acumulación de biomasa, indicando que la misma esta dada por la cantidad de árboles por hectárea del sistema: para el caso de San Pablo en número de árboles fue de 625 y en el caso de Botana fue de 278.

La cantidad de Carbono en dos densidades de siembra en el Sistema Agroforestal de San Pablo, no presentó una diferencia significativa entre estas, debido a que existió una proporción entre la cantidad de árboles sembrados en cada densidad y la cantidad de biomasa presente en cada árbol.

El comportamiento de biomasa durante seis meses (noviembre 2004 y mayo 2005) en las parcelas permanentes del Sistema Agroforestal de Pasto, incrementó un 28% expresándose en el aumento del diámetro y de la altura posiblemente por las condiciones climáticas de la zona las cuales intervienen en los requerimientos de las plantas para realizar los procesos fotosintéticos de los árboles y también por las condiciones genéticas de los mismos.

Para el Laurel de Cera, a parte del aprovechamiento del producto principal que es la Cera y que brinda ganancias económicas, también posee bondades en la conservación del medio ambiente como los servicios de fijación de Carbono, la biodiversidad, belleza escénica, fijación de Nitrógeno, protección de cuencas, conservación del agua, entre otros; por lo tanto económica y ambientalmente el Laurel de Cera es una especie que se debe implementar en el departamento de Nariño.

5. RECOMENDACIONES

Medir y evaluar la biomasa y la captura de Carbono en las raíces y la necromasa de la especie Laurel de Cera ya que es otra forma de préstamo de servicios ambientales.

Continuar con el monitoreo del incremento de biomasa y Carbono en esta especie durante un periodo considerable de tiempo, para obtener valores mas confiables que sirvan para la oferta de servicios ambientales.

Cuantificar los demás servicios ambientales que prestan los árboles de Laurel de Cera como la biodiversidad, la belleza escénica, protección de cuencas, fijación de Nitrógeno, conservación de agua.

Incluir en los proyectos de inversión de Laurel de Cera, los ingresos de servicios ambientales principalmente de captura de Carbono.

Aumentar la cobertura del Laurel de Cera en Sistemas Agroforestales en el departamento de Nariño para incrementar la fijación de Carbono y así aumentar la oferta de este servicio por el departamento.

Motivar a los agricultores de la zona de San Pablo por medio del grupo investigativo PIFIL a la organización de cooperativas que se dediquen a crear programas de venta de servicio ambiental como la fijación de CO₂, con la especie Laurel de Cera, ya que entre mayor sea la cobertura plantada de Laurel, mayores serán los beneficios ambientales y económicos.

BIBLIOGRAFIA

APONTE, O. y OBANDO, B. Estimación de biomasa aérea y Carbono almacenado en el arreglo silvopastoril de Acacia negra *Acacia decurrens* en el lindero maderable; en el corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto. Trabajo de grado (Ingeniería Agroforestal). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, 2004. p. 85

BROWN, S. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*, 1982. p. 161-187.

CALDENTEY, J. Acumulación de biomasa en rodales naturales de *Nothofagus pumilo* en Tierra de Fuego, Magallanes, Chile. En: Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Instituto nacional de investigación y tecnología agraria y alimentaria. Vol. 4. No. 2. (Noviembre, 1995); p. 165 – 174

CENTRO AGRONOMO DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA CATIE. Análisis económico y financiero de fincas pequeñas con sistemas mixtos de producción, metodología y estudios de caso en fincas de Jocoso, El Salvador. Turrialba, Costa Rica, 1987. 95 p.

CONTAMINACION POR CO₂. [en línea]. [citado en 2005-11-03]. Disponible en Internet: <http://www.sagan-gea.org/hojared/Hoja14.htm>

CORPORACION DE INVESTIGACION Y FOMENTO FORESTAL CONIF. Guía para plantaciones forestales comerciales en Nariño. Bogotá, Colombia: CONIF, 1998. 39p. (serie de documentación; No. 36)

DEL VALLE, J; MORENO, F. y ORREGO, S. 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 S.A., 2003. p 314

EI CAMBIO CLIMÁTICO. Calentamiento global [en línea]. Disponible en Internet: [http:// w..w.sagangea.org/hojared/hoja3.1.html](http://w..w.sagangea.org/hojared/hoja3.1.html).

FASSBENDER, H. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica: CATIE/GTZ, 1993. p. 493

FORERO, L. Estimación del potencial de la captura de Carbono por la Acacia mágium (*Racospema magium ex acacia magnum*), en diferentes densidades de siembra de un sistema silvopastoril en Caucasia, Antioquia. Medellín, 2003, p.

117. Trabajo de grado (Maestría en Ciencias Agrarias). Universidad Nacional de Colombia.

FORERO, L; ORDOÑEZ, H. y FORERO, F. El calentamiento climático, el Carbono y los bosques. En: Revista de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Vol. 17. No. 1 (2000); p 258 – 271

FRAGOSO LOPEZ, P. Estimación del contenido y captura de Carbono en biomasa cerera del predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro, Michoacán, México. Michoacán, 2003, 77 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo especialista en bosques). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Agro biología.

FUNDACION SOLAR. Elementos técnicos para inventarios de Carbono en usos del suelo. Guatemala: Ed. Lilian Marquez, 2000. p 12.

GOMEZ CABRERA, L. Estudio de tres niveles de fertilización y dos distancias de siembra para el cultivo del Laurel de Cera (*Myrica pubescens Humb & Bonpl ex wild*) en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño. Tesis de grado (Ingeniería agronómica). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, 1999. p. 18.

GRUPO SEMILLAS. Sistemas productivos sostenibles. [en línea]. Bogotá (Colombia). [citado en 2005-11-05]. Disponible en Internet: <http://www.semillas.org.co/expinstitucional.htm>

GUDINO, E y CORAL, L. Contabilidad 2000. 2 ed. Santa Fe de Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, 1996. p. 217-240.

JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de diseño para maderas del grupo Andino: proyectos andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales PADT REFORT. Lima, Perú: CARVAJAL S.A., 1984. p. 1-15

MANSO, P. Cambio climático y fijación de Carbono. La experiencia de Costa Rica. En: Ciencias Ambientales. No. 15. (1998); P. 17

MOLINA, A. y NARVAEZ, W.. Sistema Agroforestal Laurel de Cera (*Myrica pubescens* h.b.k.), intercalado con cultivos transitorios en el municipio de Pasto. Pasto, 2000. 67 p. Trabajo de grado (Ingeniero agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

MUÑOZ, J. et, al. Laurel de Cera: una especie promisorio de los Andes. Quito, Ecuador: SOBOC Grafic, 2004. p. 5

ORDOÑEZ DIAZ, J. Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, 1999. p. 9-10

PARRA, C. Revisión taxonómica de la familia myricaceae en Colombia. Bogotá, Colombia: 2003. p. 22

PEREZ LOPEZ, C. Estadística practica con Statgraphics. Madrid, España: Pearson Educación, 2002. 691 p.

RESTREPO, et al., Ecuaciones de biomasa para palmas del subdosel y sotobosque. En: medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia. Contribuciones para la mitigación del cambio climático. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos, 2003. p 130

ROSAS, W. y SALAZAR, M. Estimación de la biomasa y el Carbono en el Sistema Agroforestal, cercos vivos en la vereda Mocondino, municipio de Pasto. Trabajo de grado (Ingeniería Agroforestal). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, 2004. p. 24

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. 79. Trabajo de grado (facultad de economía). Universidad Nacional de Colombia.

SECRETARIA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE. Convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático. Protocolo de Kyoto. [en línea]. [Citado el 13 de agosto de 2005]. Disponible en Internet:<http://www.medioambiente.gov.ar/acuerdos/convenciones/unfccc/ccprokio.htm>

SOCIETE GENERAL OF SURVEILLANCE SGS. Rio Condor Forest Carbon Project. Executive summary. . [en línea]. Octubre 15 de 2000. [Citado el 18 de febrero de 2005]. Disponible en Internet: URL: <sgs.nl.agro@sgsgroup.nl

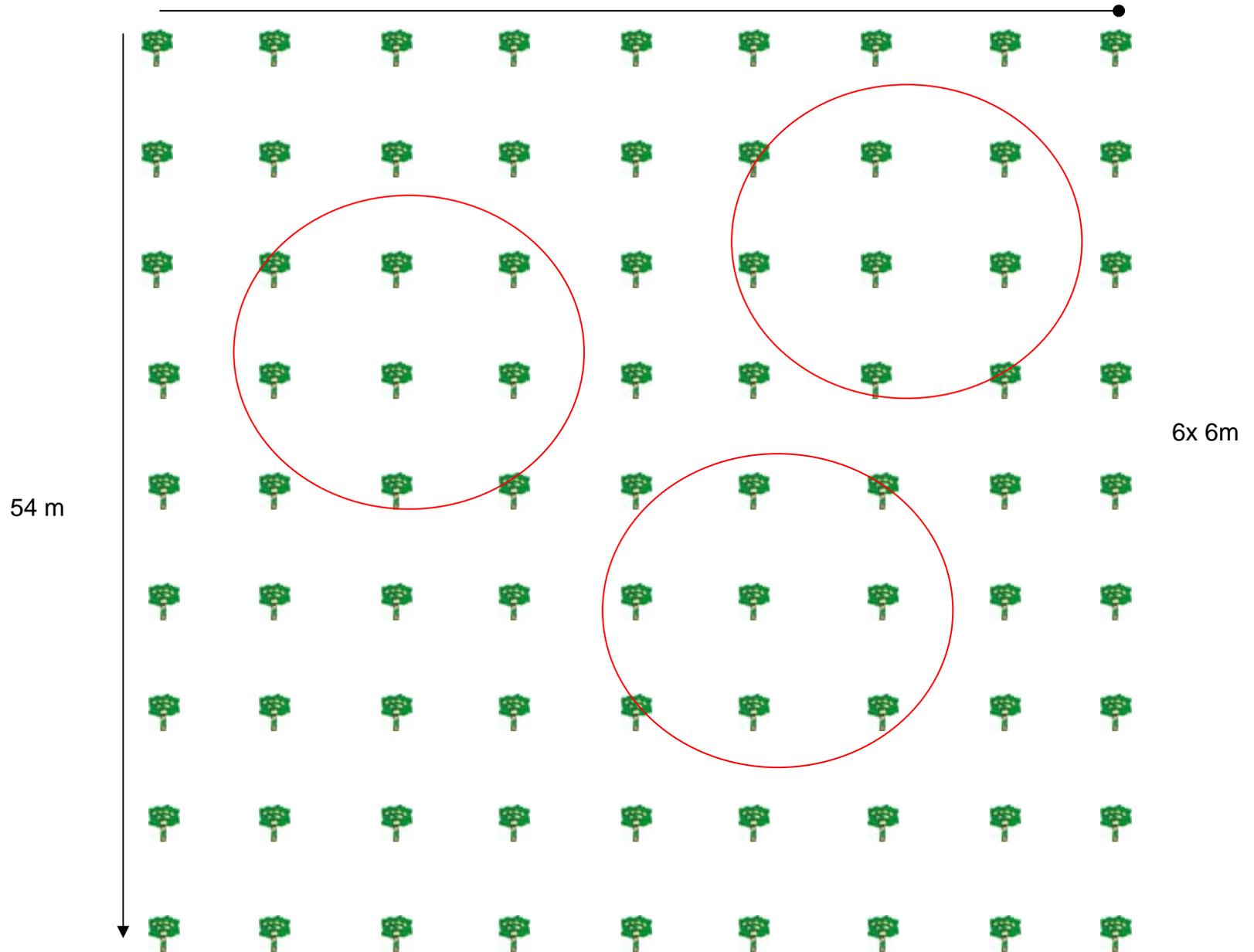
ZAPATA, M. et al. Estimación de biomasa aérea en los bosques secundarios por el método del árbol medio. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 2003. p.61

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de campo del sistema silvopastorl en el municipio de San Pablo, Nariño



Anexo 2. Mapa de campo de las parcelas establecidas en el sistema de árboles en línea en Botana, municipio de Pasto (N).
54 m



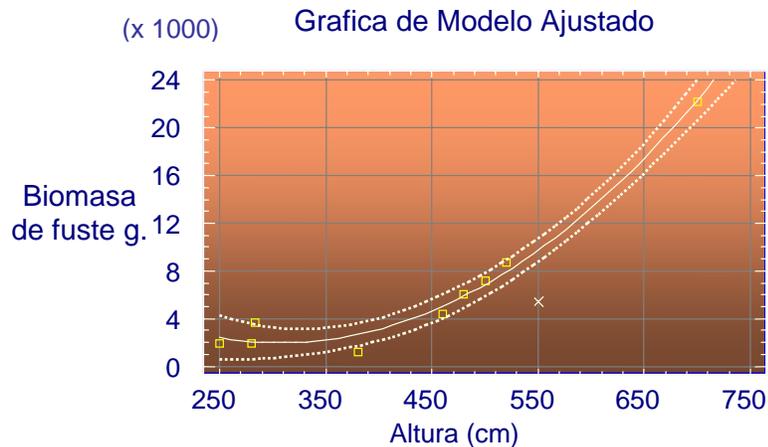
Anexo 3

Prueba t para validación del modelo $BT=49767,3 - 259,337 \cdot h + 0,371042 \cdot h^2$ de árboles en San Pablo, Nariño

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	14252,846	13180,042
Varianza	178621542	178907468
Observaciones	10	10
Coeficiente de correlación de Pearson	0,96217208	
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		9
Estadístico t	0,92247959	
P(T<=t) una cola	0,19017185	
Valor crítico de t (una cola)	1,83311292	
P(T<=t) dos colas	0,3803437	
Valor crítico de t (dos colas)	2,26215716	

Anexo 4

Grafica del modelo polinomial con la variable altura para la biomasa de fuste en 10 árboles de Laurel de cera, con su respectiva andeva



Análisis de Regresión Polinomial

Variable dependiente: Biomasa fuste g

Parámetro	Estimación	Estándar Error	T Estadístico	P-valor
CONSTANTE	14553,9	3186,62	4,5672	0,0038
Altura	-81,6607	13,7437	-5,94169	0,0010
Altura ²	0,132508	0,0140767	9,41324	0,0001

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	1,88849E11	2	9,44246E10	261,94	0,0000
Residual	2,16288E9	6	3,6048E8		
Total (Corr.)	1,91012E11	8			

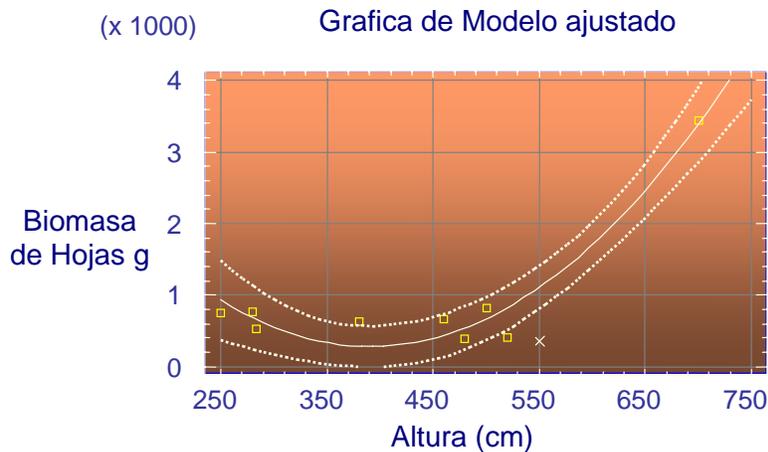
R-cuadrado = 98,8677 %

R-cuadrado (ajustado para d.f.) = 98,4902 %

Error estándar de Est. = 18986,3

Anexo 5

Grafica del modelo polinomial con la variable altura para la biomasa de hojas en 10 árboles de Laurel de cera, con su respectiva andeva



Análisis de Regresión Polinomial

Variable dependiente: Biomasa hojas g

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
CONSTANTE	5257,62	961,28	5,46939	0,0016
Altura	-25,4528	4,14594	-6,13921	0,0009
Altura^2	0,0325477	0,0042464	7,66476	0,0003

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	4,51567E9	2	2,25784E9	68,83	0,0001
Residual	1,96821E8	6	3,28035E7		
Total (Corr.)	4,7125E9	8			

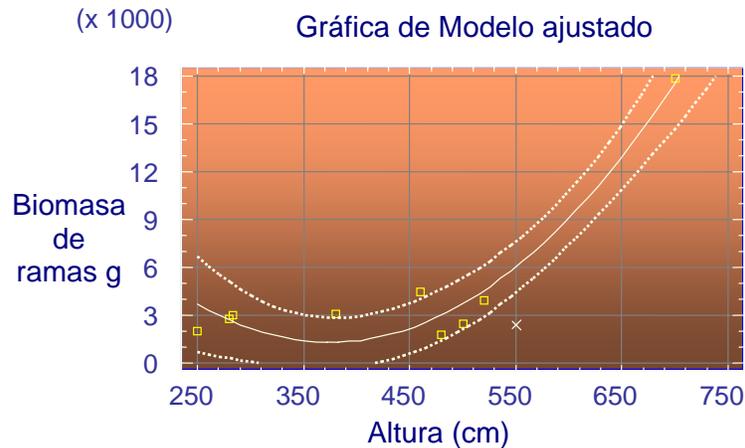
R-cuadrado = 95,8234 %

R-cuadrado (ajustado para d.f.) = 94,4312 %

Error estándar de Est. = 5727,43

Anexo 6

Grafica del modelo polinomial con la variable altura para la biomasa de ramas en 10 árboles de Laurel de cera, con su respectiva andeva



Análisis de Regresión Polinomial

Variable dependiente: Biomasa ramas g

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
CONSTANTE	22926,8	5167,81	4,43646	0,0044
Altura	-115,498	22,2884	-5,18196	0,0021
Altura ²	0,154051	0,0228285	6,74816	0,0005

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	1,23597E11	2	6,17987E10	65,18	0,0001
Residual	5,68832E9	6	9,48054E8		
Total (Corr.)	1,29286E11	8			

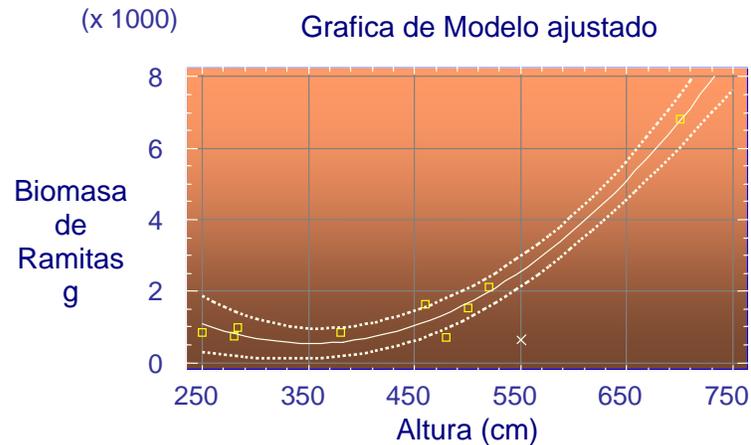
R-cuadrado = 95,6002 %

R-cuadrado (ajustado para d.f.) = 94,1336 %

Error estándar de Est. = 30790,5

Anexo 7

Grafica del modelo polinomial con la variable altura para la biomasa de ramitas en 10 árboles de Laurel de cera, con su respectiva andeva



Análisis de Regresión Polinomial

Variable dependiente: Biomasa ramitas g

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
CONSTANTE	6979,93	1350,0	5,17033	0,0021
Altura	-36,4794	5,82244	-6,26531	0,0008
Altura ²	0,0516826	0,00596354	8,66643	0,0001

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	1,80077E10	2	9,00386E9	139,17	0,0000
Residual	3,88183E8	6	6,46972E7		
Total (Corr.)	1,83959E10	8			

R-cuadrado = 97,8898 %

R-cuadrado (ajustado para d.f.) = 97,1865 %

Error estándar de Est. = 8043,45

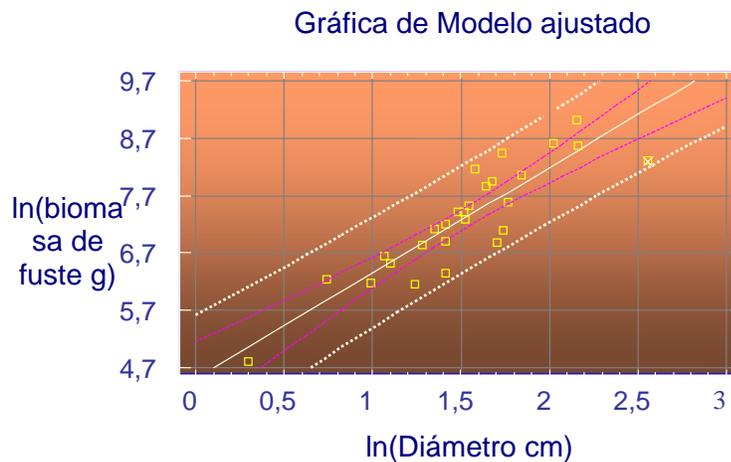
Anexo 8

Prueba t para validación del modelo $\ln(BT) = 8,38003 + 0,00678941*AB$ para árboles en San Pablo, Nariño

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	666,809072	13180,042
Varianza	282999,154	178907468
Observaciones	10	10
Coeficiente de correlación de Pearson	0,67251479	
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		9
		-
Estadístico t	3,03830351	
P(T<=t) una cola	0,00702823	
Valor crítico de t (una cola)	1,83311292	
P(T<=t) dos colas	0,01405645	
Valor crítico de t (dos colas)	2,26215716	

Anexo 9

Grafica del modelo lineal simple con la variable diámetro para la biomasa de fuste en 28 fustes de Laurel de cera, con su respectiva andeva



Análisis de Regresión - Modelo Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: ln (Biomasa fuste g)

Variable independiente: ln (Diámetro cm.)

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
Ordenada	4,50725	0,304011	14,8259	0,0000
Pendiente	1,84117	0,192241	9,5774	0,0000

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	18,4203	1	18,4203	91,73	0,0000
Residual	5,02044	25	0,200817		
Total (Corr.)	23,4407	26			

Coefficiente de correlación = 0,886467

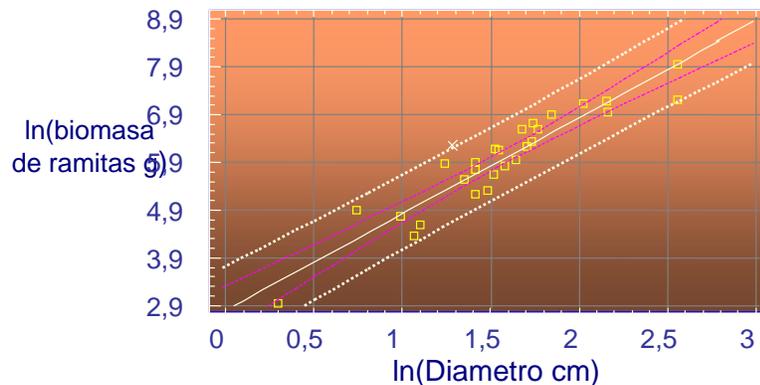
R-cuadrado = 78,5824 %

Error estándar de Est. = 0,448127

Anexo 10

Grafica del modelo lineal simple con la variable diámetro para la biomasa de ramitas en 28 fustes de Laurel de cera, con su respectiva andeva

Gráfica de Modelo ajustado



Análisis de Regresión - Modelo Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: ln (Biomasa ramitas g)

Variable independiente: ln (Diámetro cm.)

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
Ordenada	2,79713	0,23736	11,7843	0,0000
Pendiente	2,01897	0,144929	13,9307	0,0000

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	26,0932	1	26,0932	194,07	0,0000
Residual	3,36139	25	0,134456		
Total (Corr.)	29,4546	26			

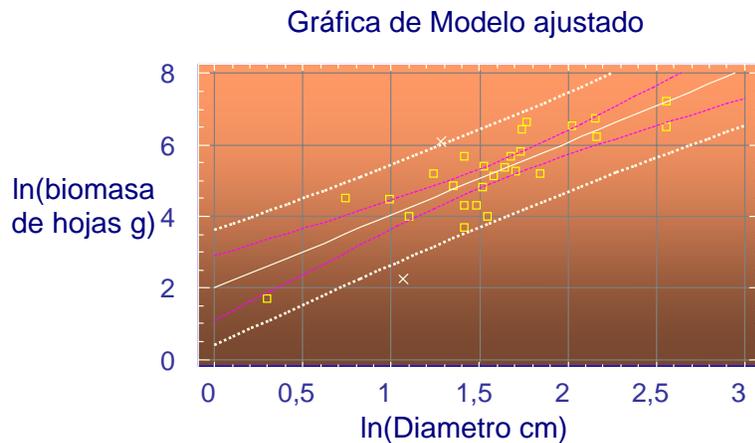
Coefficiente de correlación = 0,941211

R-cuadrado = 88,5879 %

Error estándar de Est. = 0,366682

Anexo 11

Grafica del modelo lineal simple con la variable diámetro para la biomasa de hojas en 28 fustes de Laurel de cera, con su respectiva andeva



Análisis de Regresión - Modelo Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: ln (Biomasa hojas g)

Variable independiente: ln (Diámetro cm.)

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
Ordenada	1,99732	0,433819	4,60403	0,0001
Pendiente	2,03767	0,261991	7,77762	0,0000

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	25,5052	1	25,5052	60,49	0,0000
Residual	10,1192	24	0,421634		
Total (Corr.)	35,6244	25			

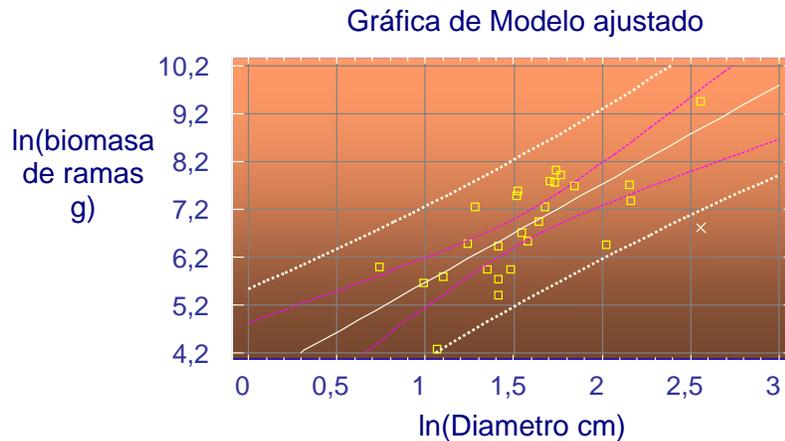
Coefficiente de correlación = 0,846137

R-cuadrado = 71,5947 %

Error estándar de Est. = 0,649333

Anexo 12

Grafica del modelo lineal simple con la variable diámetro para la biomasa de ramas en 28 fustes de Laurel de cera, con su respectiva andeva



Análisis de Regresión - Modelo Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: ln (Biomasa ramas g)

Variable independiente: ln (Diámetro cm.)

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
Ordenada	3,58628	0,597318	6,00398	0,0000
Pendiente	2,07305	0,3709	5,58924	0,0000

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	16,7495	1	16,7495	31,24	0,0000
Residual	12,8679	24	0,536164		
Total (Corr.)	29,6175	25			

Coefficiente de correlación = 0,752017

R-cuadrado = 56,5529 %

Error estándar de Est. = 0,732232

Anexo 13

Prueba t para validación del modelo $\ln(Bt)=3,5438 + 2,42705 * \ln(d)$ de fustes en San Pablo, Nariño

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	1345,35363	2470,81429
Varianza	3905530,25	9922769,47
Observaciones	28	28
Coeficiente de correlación de Pearson	0,73591425	
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		27
Estadístico t	-2,7570584	
P(T<=t) una cola	0,00516459	
Valor crítico de t (una cola)	1,70328842	
P(T<=t) dos colas	0,01032918	
Valor crítico de t (dos colas)	2,05183049	

Anexo 14

Análisis de Regresión Polinomial

Variable dependiente: Biomasa total g

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
CONSTANTE	49767,3	6018,85	8,26856	0,0002
Altura	-259,337	25,9589	-9,99031	0,0001
Altura^2	0,371042	0,0265879	13,9553	0,0000

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	9,64867E11	2	4,82433E11	375,14	0,0000
Residual	7,7161E9	6	1,28602E9		
Total (Corr.)	9,72583E11	8			

R-cuadrado = 99,2066 %

R-cuadrado (ajustado para d.f.) = 98,9422 %

Error estandar de Est. = 35861,1

Anexo 15

Análisis de Regresión - Modelo Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: log (Biomasa total g)

Variable independiente: área Basal

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
Ordenada	8,38003	0,175511	47,7463	0,0000
Pendiente	0,00678941	0,0012001	5,65739	0,0008

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	2,9552	1	2,9552	32,01	0,0008
Residual	0,646328	7	0,0923326		
Total (Corr.)	3,60153	8			

Coefficiente de correlación = 0,905837

R-cuadrado = 82,0541 %

Error estándar de Est. = 0,303863

Anexo 16

Análisis de Regresión - Modelo Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: log (total seco gr)

Variable independiente: log (Diámetro cm.)

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	P-valor
Ordenada	3,5438	0,406544	8,71689	0,0000
Pendiente	2,42705	0,257077	9,44093	0,0000

Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadros medios	F-Ratio	P-valor
Modelo	32,0086	1	32,0086	89,13	0,0000
Residual	8,97794	25	0,359118		
Total (Corr.)	40,9865	26			

Coefficiente de correlación = 0,883716

R-cuadrado = 78,0954 %

Error estándar de Est. = 0,599264

Anexo 17

Prueba t para la relación de dos distancias para la variable altura en San Pablo, Nariño

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	22699,403	22527,927
Varianza	188415517	178305232
Observaciones	7	7
Coeficiente de correlación de Pearson	0,99300474	
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		6
Estadístico t	0,27591232	
P(T<=t) una cola	0,39593614	
Valor crítico de t (una cola)	1,94318027	
P(T<=t) dos colas	0,79187228	
Valor crítico de t (dos colas)	2,44691185	

Anexo 18

Prueba t para la relación de dos distancias con la variable
área basal en San Pablo, Nariño

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	67,7152862	62,4272441
Varianza	4389,25456	3990,32649
Observaciones	6	6
Coeficiente de correlación de Pearson	0,95188044	
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		5
Estadístico t	0,63794297	
P(T<=t) una cola	0,27578873	
Valor crítico de t (una cola)	2,01504837	
P(T<=t) dos colas	0,55157745	
Valor crítico de t (dos colas)	2,57058183	

Anexo 19. Comparación del aumento de biomasa en seis meses de monitoreo de las parcelas establecidas en la Granja Experimental de Botana utilizando la variable dasométrica altura.

PARCELA No.	DATOS DE 15 DE DICIEMBRE 2004	DATOS DE 26 DE MAYO 2005	DIFERENCIAS
	$T=49767,3-259,337*h+0,371042*h^2$	$T=49767,3-259,337*h+0,371042*h^2$	gr de biomasa
1	11669,48	8898,4392	-2771,0408
	5552,82	4892,78745	-660,0326
	9313,90	6795,2718	-2518,6282
	8123,18	6242,6328	-1880,5472
	5359,98	4451,995	-907,985
	4452,00	5221,01305	769,0131
	5359,98	4774,1608	-585,8192
	9747,91	7422,1192	-2325,7908
PROMEDIO	7447,40	6087,302413	-1360,1038
2	14983,01	12741,58	-2241,43
	13652,69	13305,45705	-347,233
	10293,22	9313,89945	-979,3205
	10963,17	8898,4392	-2064,7308
	10200,48	8501,53105	-1698,9489
	15108,40	16403,1238	1294,7238
	15876,33	15108,4008	-767,9292
	19964,59	15746,48625	-4218,1038
PROMEDIO	12350,44	12502,3647	151,9274
3	9062,40	8898,4392	-163,9608
	10865,23	10671,5928	-193,6372
	15746,49	16403,1238	656,6338
	19813,23	20732,5432	919,3132
	21838,84	21519,04545	-319,7946
	28478,94	27544,02	-934,92
	11463,97	11161,26145	-302,7086
	15361,41	15746,48625	-13813,9237
PROMEDIO	16578,81	16584,56402	5,7540

Anexo 20. Comparación de biomasa en seis meses de monitoreo de las parcelas establecidas en la granja experimental de botana para la variable dasométrica Área basal a la base del árbol.

	DATOS DE 15 DE DICIEMBRE 2004	DATOS DE 26 DE MAYO 2005	DIFERENCIAS
PARCELA No.	$\log(T) = 8,38003 + 0,00678941*AB$	$\log(T) = 8,38003 + 0,00678941*AB$	Gr de biomasa
1	300,8975185	300,8975185	0
	287,8049604	341,8869406	64,0819
	977,2692467	1216,821422	239,5522
	1243,5617	408,2287367	-835,3329
	514,5421588	531,9834817	17,4413
	472,2110964	480,5385185	8,3274
	1112,77491	1353,437408	240,6985
	1526,971632	1888,844386	361,8728
	691,9625129	1216,821422	524,8589
	238,3955893	408,2750001	169,8794
	567,7451333	722,4038671	154,6588
PROMEDIO	721,2851326	806,3762457	85,0911
	Aumento de biomasa en porcentaje		10,55%
2	408,2750001	558,6774959	150,4024
	407,6273117	977,2692467	569,6419
	480,5385185	523,7023231	43,1638
	275,0362465	408,2750001	133,2387
	256,3920737	327,9153769	71,5233
	58,98590653	861,7493968	802,7635
	275,0362465	356,1360851	81,0998
	356,1360851	416,0009973	59,8649
	76,88986404	113,9468924	37,0570
	238,3955893	238,3955893	0
PROMEDIO	283,3312842	478,2068404	194,8755
	Aumento de biomasa en porcentaje		40,75%
3	423,8195214	567,7451333	143,9256
	662,2151107	1177,266167	515,0511
	480,5385185	806,6958841	326,1574
	463,9762013	672,0692268	208,0930
	275,0362465	393,0080596	117,9718
	416,0009973	586,0654619	170,0645
	378,0186998	416,0009973	37,9822
	455,7875695	861,7493968	405,9618
PROMEDIO	444,4241081	685,0750409	213,6509
	Aumento de biomasa en porcentaje		31,19%

Anexo 21. Comparación de biomasa en 6 meses de monitoreo de las parcelas establecidas en la granja experimental de botana utilizando la variable dasométrica diámetro a los 30 cm. del suelo de los 28 fustes.

	DATOS DE 15 DE DICIEMBRE 2004	DATOS DE 26 DE MAYO 2005	DIFERENCIAS
PARCELA No 1	log(T)=3,5438+2,42705*log(d)	log(T)=3,5438+2,42705*log(d)	
	1078,337491	1374,827203	296,4897
	1032,995399	1654,814786	621,8194
	1032,995399	1837,617895	804,6225
	607,5584531	862,9478504	255,3894
	1101,439072	1539,156373	437,7173
	675,1864876	1124,829112	449,6426
	2606,636946	2926,059157	319,4222
	862,9478504	1124,829112	261,8813
	823,221742	1032,995399	209,7736
	903,7792903	1374,827203	471,0479
	1148,508678	1539,156373	390,6477
	255,6426234	353,4944671	97,8528
	101,1703844	160,4610761	59,2907
	6435,983007	6701,667383	265,6844
	640,8479974	988,7941803	347,9462
1	5799,219613	5923,458219	124,2386
	4427,225905	6176,59509	1749,3692
	4427,225905	6435,983007	2008,7571
	747,0489026	862,9478504	115,8989
	2167,640543	2167,640543	0
	803,7703384	823,221742	19,4514
	607,5584531	1032,995399	431,4369
	1714,499338	1775,431145	60,9318
	307,7049918	544,0868771	236,3819
	1271,286433	1654,814786	383,5283
	49,38761341	84,88354076	35,4959
	945,7250898	1078,337491	132,6124
	765,6850793	945,7250898	180,0400
	227,0940614	286,1988563	59,1048
	657,8855165	823,221742	165,3362
	456,4974312	575,3080548	118,8106
	1869,184258	2455,009568	585,8253
	65,73062618	84,88354076	19,1529
	1078,337491	1654,814786	576,4773
	1032,995399	1483,16681	450,1714
	1032,995399	1428,393095	395,3977
	607,5584531	823,221742	215,6633
PROMEDIO	1361,338045	1722,076123	360,7381
	Aumento de biomasa en porcentaje		20,95%

	DATOS DE 15 DE DICIEMBRE 2004	DATOS DE 26 DE MAYO 2005	DIFERENCIAS
PARCELA No 2	log(T)=3,5438+2,42705*log(d)	log(T)=3,5438+2,42705*log(d)	
2	607,5584531	1124,829112	517,2706
	456,4974312	747,0489026	290,5515
	353,4944671	607,5584531	254,0640
	403,0625186	607,5584531	204,4959
	245,9053826	353,4944671	98,5891
	377,8005889	456,4974312	78,6968
	192,0806143	330,133034	138,0524
	227,0940614	286,1988563	59,1048
	209,1566595	307,7049918	98,5433
	429,2912045	607,5584531	178,2672
	1483,16681	2099,06591	615,8978
	456,4974312	710,5836022	254,0862
	903,7792903	1078,337491	174,5520
	675,1864876	784,5918366	109,4053
	470,4704493	675,1864876	204,7160
	132,1296639	192,0806143	59,9510
	429,2912045	607,5584531	178,2672
	945,7250898	1322,461039	376,7359
	192,0806143	307,7049918	115,6244
	1483,16681	2763,634957	1280,4681
	1837,617895	3093,964352	1256,3465
	35,71648281	74,94757119	39,2311
	823,221742	1221,295139	398,0734
	575,3080548	823,221742	247,9137
	377,8005889	675,1864876	297,3859
	106,9758149	132,1296639	25,1515
	132,1296639	286,1988563	154,0692
	330,133034	429,2912045	99,1582
	318,8030523	403,0625186	84,2594
	245,9053826	307,7049918	61,7996
	95,55446283	145,8911455	50,3367
	84,88354076	160,4610761	75,5775
341,6963663	575,3080548	233,6117	
57,21628957	119,1626576	61,9464	
145,8911455	245,9053826	100,0124	
484,6918258	575,3080548	90,6162	
403,0625186	513,8848643	110,8223	
95,55446283	175,8531127	80,2986	
57,21628957	95,55446283	38,3382	
35,71648281	57,21628957	21,4998	
PROMEDIO	431,4632582	652,0333791	220,5701
	Aumento de biomasa en porcentaje		33,83%

	DATOS DE 15 DE DICIEMBRE 2004	DATOS DE 26 DE MAYO 2005	DIFERENCIAS
PARCELA No. 3	log(T)=3,5438+2,42705*log(d)	log(T)=3,5438+2,42705*log(d)	
3	2031,783745	2763,634957	731,8512
	903,7792903	1374,827203	471,0479
	710,5836022	1078,337491	367,7539
	1032,995399	1032,995399	0
	842,9471979	1124,829112	281,8819
	765,6850793	945,7250898	180,0400
	607,5584531	784,5918366	177,0334
	377,8005889	456,4974312	78,6968
	49,38761341	57,21628957	7,8287
	784,5918366	1221,295139	436,7033
	1078,337491	1374,827203	296,4897
	255,6426234	403,0625186	147,4199
	95,55446283	175,8531127	80,2986
	95,55446283	192,0806143	96,5261
	575,3080548	784,5918366	209,2838
	227,0940614	286,1988563	9,1048
	153,0741939	192,0806143	39,0064
	35,71648281	42,22706788	6,5106
	160,4610761	209,1566595	48,6956
	12,22229942	29,83697905	17,6147
	145,8911455	175,8531127	29,9619
	175,8531127	227,0940614	51,2409
	119,1626576	160,4610761	41,2984
	903,7792903	1032,995399	129,2161
	784,5918366	988,7941803	204,2023
	1124,829112	1322,461039	197,6319
	296,837411	353,4944671	56,6571
	675,1864876	784,5918366	109,4053
	49,38761341	49,38761341	0
	607,5584531	823,221742	215,6633
275,7878616		-	
765,6850793	945,7250898	180,0400	
192,0806143	286,1988563	94,1182	
442,7714575	544,0868771	101,3154	
PROMEDIO	510,4552984	673,4615381	163,0062
	Aumento de biomasa en porcentaje		24,20%