

CUANTIFICACIÓN DE CARBONO SECUESTRADO EN LA BIOMASA  
RADICAL, DE LAUREL DE CERA *Morella pubescens Humb. & Bompl. ex  
Willd. Wilbur* EN DOS AGROECOSISTEMAS EN EL MUNICIPIO DE SAN  
PABLO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

JHONNIE MAURICIO DAZA CASTILLO  
IVÁN ANDRÉS DELGADO VARGAS

Presidente de tesis:  
JAVIER ANÍBAL LEÓN GUEVARA  
I AF. M.Sc Agroforestería tropical

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
INGENIERÍA AGROFORESTAL  
PASTO – COLOMBIA  
2008

CUANTIFICACIÓN DE CARBONO SECUESTRADO EN LA BIOMASA  
RADICAL, DE LAUREL DE CERA *Morella pubescens Humb. & Bompl. ex  
Willd. Wilbur* EN DOS AGROECOSISTEMAS EN EL MUNICIPIO DE SAN  
PABLO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

JHONNIE MAURICIO DAZA CASTILLO  
IVÁN ANDRÉS DELGADO VARGAS

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

Presidente de tesis:  
JAVIER ANÍBAL LEÓN GUEVARA  
I. AF. M.Sc. Agroforestería tropical

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
INGENIERÍA AGROFORESTAL  
PASTO – COLOMBIA  
2008

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

“Artículo primero del acuerdo No 324 del 11 de octubre de 1966 emanado del Honorable consejo de la Universidad de Nariño”

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

JAVIER ANÍBAL LEÓN GUEVARA I.AF. M.Sc.  
Presidente de tesis

---

LUZ AMALIA FORERO I.F. M.Sc.  
Delegado asesor

---

GLORIA CRISTINA LUNA I.A. M.Sc.  
Jurado

---

JORGE VÉLEZ LOZANO I.AF. M.Sc.  
Jurado

Dedico a:

Gloria, mi madre.

Por su apoyo incondicional, por guardar en mí su esperanza, por los años de dedicación, esfuerzo y por el ejemplo de vida que una mujer puede formar. por eso le doy mi gratitud, respeto y amor.

Jesús, 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 para brindarnos lo mejor.

Julie, mi hermana.

por su apoyo y amistad incondicional, y sus valiosos consejos, por el cariño y la comprensión.

Mi familia y a toda la gente que

me acompañó en este proceso de aprendizaje.

JHONNIE MAURICIO DAZA CASTILLO

Dedico a:

A Dios Todopoderoso por la protección y las bendiciones que me ha dado durante mi vida.

A mi madre, Orfa, por ser la gran mujer que es y que ha mostrado con sus actos el gran cariño y amor que me profesa. Madre los sentimientos son mutuos, gracias por todo.

Mi hermana Sofia, Por su paciencia, por su amor silencioso y sucompañía, por compartir conmigo nuestras alegrías y tristezas.

A toda mi familia, que ha sido un constante apoyo en los momentos difíciles y un refugio; he hizo posible mi realización como persona. A todos y cada uno de mis allegados y amigos que con su confianza, entrega, apoyo, sus palabras, esfuerzos y sacrificios, hicieron posible la realización de este proyecto

IVÁN ANDRÉS DELGADO VARGAS

## AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento al I.AF M.Sc.JAVIER LEÓN GUEVARA docente de la Universidad de Nariño por su asesoría, orientación, colaboración, apoyo y dedicación durante el proceso del desarrollo de esta investigación.

Especial agradecimiento a la I.A. M.Sc. GLORIA CRISTINA LUNA CABRERA, directora grupo de investigación PIFIL.

A la ALCALDÍA DEL MUNICIPIO DE SAN PABLO, en especial al señor HERNANDO ÁLVAREZ, Técnico Forestal UMATA, San Pablo, Nariño.

A la comunidad de la vereda Bateros por brindarnos todo su apoyo y colaboración, en especial al señor EDIVAR ESPINOSA y Familia.

I.A. M.Sc JEAN ALEXANDER LEÓN GUEVARA, por su amistad, consejos y ayuda desinteresada.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas, al programa de Ingeniería Agroforestal, al personal docente y administrativo.

A todas las personas que de una u otra forma hicieron posible el desarrollo y culminación de esta investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag
I. INTRODUCCIÓN .....	19
II. MARCO TEÓRICO .....	21
2.1 Sistemas agroforestales .....	21
2.1.1 Clasificación de los sistemas agroforestales.....	21
2.2 Regeneración natural.....	22
2.3 Forma del carbono en la naturaleza .....	23
2.3.1 El papel de las plantas en el ciclo del Carbono.....	23
2.3.2 Ciclo del carbono .....	24
2.3.3. Fijación y reducción de dióxido de Carbono (conversión de materia).....	24
2.4 Características generales de la especie laurel de cera.....	25
2.4.1 Clasificación taxonómica.....	26
2.4.2 Origen y distribución .....	26
2.4.3 Descripción .....	26
2.4.3.1 Morfología .....	27
2.4.4 Usos.....	28
2.4.5 Importancia ecológica .....	28
2.5 Metodología para muestreo de raíces en sistemas agroforestales.....	28
2.5.1 Métodos indirectos.....	29
2.5.2 Métodos directos.....	29
2.5.3 Muestreo de raíces finas con barreno “Eijkelkamp”.....	30
2.5.3.1 Descripción del barreno.....	31
2.5.4 Estudios de caso de la utilización del barreno en raíces.....	32
III. DISEÑO METODOLÓGICO.....	34
3.1 Localización .....	34
3.2 Metodología .....	35
3.2.1 Etapa de Campo .....	35
3.3 Etapa de laboratorio.....	38
3.3.1 Lavado de raíces (manual) .....	38



	Pag
3.3.2 Determinación de Biomasa y Carbono.....	39
3.3.3 Contenido de humedad.....	39
3.3.4 Biomasa de los componentes .....	40
3.4. Fracción de carbono .....	40
3.4.1 Carbono almacenado.....	40
3.5. Análisis estadístico. ....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
4.1 Variables evaluadas.....	42
4.2 Estimación de la biomasa radical (finas y gruesas), en <i>Morella pubescens</i> en el arreglo agroforestal pasturas en callejones. ....	43
4.2.1 Contenido de carbono en el sistema radical de <i>Morella pubescens</i> . ....	46
4.2.2 Carbono en las raíces finas. ....	46
4.2.3 Carbono en las raíces gruesas. ....	48
4.3 Estimación de la biomasa radical (finas y gruesas), en <i>Morella pubescens</i> en regeneración natural. ....	49
4.3.1 Contenido de carbono en el sistema radical de <i>Morella pubescens</i> . ....	51
4.3.2 Carbono en las raíces finas. ....	51
4.3.3 Carbono en las raíces gruesas. ....	52
4.5 Análisis estadístico, prueba de Tukey.....	52
4.4 Comparación del arreglo agroforestal y los árboles en regeneración natural.....	53
4.4.1 Raíces finas. ....	53
4.4.2 Raíces gruesas. ....	54
4.5. Extrapolación de datos. ....	55
CONCLUSIONES .....	58
RECOMENDACIONES.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Muestreo con el barreno “Eijkelkamp”.	29
Figura 2. Localización vereda Bateros, Municipio de San Pablo, departamento de Nariño, Colombia.	31
Figura 3. Distribución de las cuatro franjas por árbol.	33
Figura 4. Representación grafica del muestreo por metodología de anillos concéntricos.	34
Figura 5. Muestreo, selección, pesado y maceración de las raíces.	38
Figura 6. Biomasa radical (seca en kg/muestras) para raíces finas, en el sistema pastura en callejones.	41
Figura 7. Biomasa radical (kg/muestras) para raíces gruesas.	43
Figura 8. Contenido de carbono en el sistema radical de <i>Morella pubescens</i> Arreglo Pastura en Callejones (4x4 y 4x3).	44
Figura 9. Contenido de carbono en el sistema radical para raíces gruesas de <i>Morella pubescens</i> , arreglo pastura en callejones (4x4 y 4x3).	45
Figura 10. Biomasa radical (seca en kg/muestras) para raíces finas a tres profundidades.	46
Figura 11. Biomasa radical (seca en kg/muestras) para raíces gruesas en regeneración natural.	47
Figura 12. Biomasa radical (seca en kg/muestras) para raíces finas, en regeneración natural.	48
Figura 13. Kilogramos de carbono en la muestra de la biomasa seca de raíces gruesas.	49
Figura 14. Biomasa y carbono total presente en los dos agroecosistemas para raíces finas.	50

Figura 15. Biomasa y carbono total presente en los dos agroecosistemas para raíces gruesas. ....	51
Figura 16. Biomasa total, húmeda y fresca expresada en toneladas por hectárea presente en los dos agroecosistemas, para raíces finas. ....	56
Figura 17. Extrapolación de los datos obtenidos en biomasa radicular y carbono almacenado en el sistema pastura en callejones y regeneración natural. ....	57

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Formulario de registro de datos (DAP). .....	58
Anexo B. Mapa de campo. ....	59
Anexo C. Resultado análisis de laboratorio. ....	60
Anexo D: Tabla análisis de varianza. ....	61
Anexo E: Calculo de la biomasa fresca y seca para cada uno de los arboles muestreados en el arreglo pastura en callejones.....	64
Anexo F: Calculo de la biomasa fresca y seca para cada uno de los arboles muestreados en regeneración natural. ....	65

## GLOSARIO

**AGROFORESTERÍA:** Es un nombre colectivo para todos los sistemas de uso de la tierra, donde plantaciones leñosas-perennes se siembran en la misma unidad de tierra con cultivos agrícolas y/o animales, en combinaciones espaciales o en secuencia temporal.

**APEAR:** Cortar o tumbar un árbol a ras del suelo.

**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.

**CALENTAMIENTO GLOBAL:** Aumento de la temperatura de la tierra por procesos naturales y debido al uso de combustibles fósiles y procesos industriales que llevan a una acumulación de gases invernadero (dióxido de Carbono, metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonos) en la atmósfera.

**CAMBIO CLIMÁTICO:** Es definido como cualquier cambio en el clima en el tiempo, surgiendo de la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana.

**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.

**CARBONO ALMACENADO:** Hace relación al carbono que esta acumulado en determinado ecosistema vegetal. Tiene en cuenta criterios como tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que se basan en datos de biomasa calculada a partir de volúmenes por hectárea de inventarios forestales.

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

## RESUMEN

La presente investigación se llevo a cabo en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño, vereda Bateros a 15 Km. de la cabecera municipal, y a una altura de 2010 m.s.n.m., con precipitación pluvial media anual de 1300 mm y una temperatura promedio de 17°C., y tuvo como fin evaluar la cuantificación de carbono secuestrado en la biomasa radicular, de laurel de cera *Morella pubescens humb. & bompl. ex willd. wilbur* en dos agroecosistemas.

Se realizaron muestreos en los dos sistemas agroforestales pasturas en callejones (Pc) y el sistema de regeneración natural (Rn). El sistema Pc con una área de 4108 m<sup>2</sup>; donde se encontró 72 árboles en el bloque de 4x3, y 115 para el bloque de distancias de 4x4, con un total de 187 árboles vivos, y 121 muertos. Dado las condiciones de sobrevivencia del 61% de la especie, los árboles seleccionados fueron evaluados con la variable de crecimiento diamétrico DAP, se selecciono el 4% para un total de 14 árboles (siete para cada distancia de siembra 4x3 y 4x4), con un rango de oscilación entre 5-7cm. Para el sistema Rn se determino, realizando un recorrido de las áreas donde se encontró la especie en regeneración natural de la vereda Bateros, seleccionando 7 árboles con un rango de oscilación del DAP entre 5-7cm y sin intervención.

Para la extracción de raíces finas se ubico el barrenó Eijkelkamp, teniendo en cuenta el muestreo de raíces con la metodología usada en palma africana por Reyes *et al.*, (1997)<sup>1</sup>, y modificada para este estudio, de la siguiente manera: a partir de la base del fuste se delimito cuatro franjas dirigidas hacia el norte, sur, oriente y occidente, de la cual se sacaron 6 muestras por cada franja a tres profundidades ( 0-15cm, 15-30cm, 30-45 cm.), con dos distancias de la base del tallo 70(corona 1) y 140 cm(corona 2), extrayendo 24 muestras por cada árbol, con un total de 336 muestras para Pc y 168 para Rn.

Se llevo todas las muestras de raíces finas, y un kilo para raíces gruesas al laboratorio de la Universidad de Nariño, para determinar la fracción de carbono, por el método de combustión húmeda de Walkey & Black, que para MacDicken

---

<sup>1</sup> REYES, R.; BASTIDAS, S.; PEÑA, E. Distribución del sistema radical de la palma de aceite *Elaeis guineensis*. En: Revista Palmas 18(3), 1997. P 49-57.

(1997) citado por Orrrego y del Valle<sup>2</sup>, (también conocido como método de incineración).

Mediante el análisis de fracción de carbono en la biomasa radicular y carbono almacenado para raíces finas; se encontró que hay mayor cantidad de biomasa radicular en el arreglo silvopastoril para las distancias de 4x3 con 8,2 t/Ha<sup>-1</sup>, seguido con 6,7 t/Ha<sup>-1</sup> para la distancia de 4x4 y finalmente 2,1 t/Ha<sup>-1</sup> para regeneración natural, disminuyendo progresivamente para las otras dos profundidades. Con respecto a los datos de carbono almacenado se obtuvo 4,2 t/Ha<sup>-1</sup> para la parcela con distancias de 4x3, seguida con 3,2 t/Ha<sup>-1</sup> para la parcela de 4x4 y finalmente para regeneración natural con 0,8 t/Ha<sup>-1</sup> disminuyendo progresivamente en las otras profundidades. Esto se debe a que la biomasa radicular y el carbono almacenado son proporcionales a la fracción de carbono encontrada para cada sistema y para cada profundidad.

Los datos obtenidos de biomasa radicular y carbono almacenado para raíces gruesas tanto en el sistema pastura en callejones, como en regeneración natural. Se puede apreciar notoriamente que hay mayor cantidad de carbono almacenado en el arreglo silvopastoril para las distancias de 4x3 con 5,0 t/Ha<sup>-1</sup>, seguido con 3,1 t/Ha<sup>-1</sup> para la distancia de 4x4 y finalmente 1 t/Ha<sup>-1</sup> para regeneración natural, disminuyendo progresivamente para las otras profundidades. Con relación a los datos de carbono almacenado se obtuvo 2,8 t/Ha<sup>-1</sup> para la parcela con distancias de 4x3, seguida con 1,6 t/Ha<sup>-1</sup> para la parcela de 4x4 y finalmente para regeneración natural con 0,6 t/Ha<sup>-1</sup> disminuyendo progresivamente en las otras dos profundidades.

---

<sup>2</sup> ORREGO, S.; DEL VALLE, J. Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: ORREGO, S.; DEL VALLE, J.; MORENO, F y ARBELÁEZ, T. Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia: Contribuciones para la Mitigación de Cambio Climático. 2003. p. 215-241.

## ABSTRACT

The present research is carried out in San Pablo a town, located in the department of Nariño, a Bateros path, to 15 Km from the municipal head board, and to a height of 2010 m.s. n.m, with rainfall annual average of 1300 m.m and an average temperature of 17 ° C. This research had as the main purpose evaluate the quantification of carbon extracted in the biomass radical of Laurel de cera *Morella Pubescens Humb and Bompl ex Willd Wilbur* in two agro ecosystems.

The samplings were realized in both systems, Pastures in Alley (A.P) and in system of natural regeneration (N.R). The A.P arrangement with an area of 4108 m<sup>2</sup>, where it was three blocks of 4 x 3, and 4 x 4, the selected trees were evaluated with the variable of diametrical growth (D.G) 4 % of the sample was selected for a total of 14 trees. (Seven for each system) with a rank of oscillation between 5- 7 cm, for the system N.R seven trees were selected in the same rank of D.G and without intervention.

For the extraction of fine roots the drilled hole was in use at the one strike Eijkelmamp; taking into account the sampling roots with the methodology used in Palma Africana by Reyes (1997)<sup>3</sup>, and modified by this study in the following way: from the base of the shaft it was delimited four strips directed towards the north , south, east and west, of which 6 samples were extracted by every band to three depths (0- 15 cm, 15- 30 cm, 30- 45 cm) with two distances of the base of the stem 70 (wreath 1) and 140 cm (wreath 2), taking 24 samples by each tree, for a total of 336 samples for A.P and 168 for N.R.

Was estimated the variables of weight of roots for horizon, weight of roots for wreath, weight of roots for tree with the information of each sample. There were selected two trees for the A.P and one for N.R as for the thick roots and all the samples of fine roots, and a ton for thick roots, was carried to the laboratory of the University of Nariño, to determined the fraction of carbon, by the method of humid combustion of Walkey and Black, that for MacDicken (1997)<sup>4</sup> (also know as the method of incineration).

---

<sup>3</sup> REYES, R.; BASTIDAS, S.; PEÑA, E. Distribución del sistema radical de la palma de aceite *Elaeis guineensis*. En: Revista Palmas 18(3), 1997. P 49-57.

<sup>4</sup> ORREGO, S.; DEL VALLE, J. Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: ORREGO, S.; DEL VALLE, J.; MORENO, F y ARBELÁEZ, T. Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia: Contribuciones para la Mitigación de Cambio Climático. 2003. p. 223.



By means of the analysis of fraction of carbon in the biomass radicular and carbon stored for fine roots it was found major quantity of biomass radicular in the agreement silviopastoril for the distances of 4 x 3 with 8, 2 t/Ha in the depth A, dismissing progressively for the others two depths. With regard of the information of carbon stored it was obtained 4, 2 t/ha for the plot of distances of 4 x 3 in the depth A, dismissing progressively in the others depths. This owes to that the radical biomass and the stored carbon is proportional to the fraction of carbon found for every system and for every depth.

The results obtained of biomass radical and carbon stored for thick roots. It was possible to estimate that there was a major quantity of carbon stored in the arrangement silvopastoril for the distances of 4x3 with 5,0 t/Ha, followed with the distance of 4 x 4 and finally for natural regeneration, it was obtained 2,8 t/ha of carbon stored by the plot of distances of 4 x3.

## I. INTRODUCCIÓN

El clima de la tierra está constantemente cambiando debido a factores naturales. Además de los cambios y ciclos climáticos normales de la tierra, la influencia del hombre sobre su ambiente ha ocasionado alteraciones del clima a nivel global. Es fundamental comprender que el efecto invernadero siempre ha existido; los gases que determinan dicho efecto son naturales y siempre han contribuido a la regulación del clima terrestre, de manera que representan una de las bases de la vida de la tierra<sup>5</sup>.

La captura de carbono en especies arbóreas es uno de los servicios ambientales más importantes dentro de la minimización de los niveles de contaminantes gaseosos atmosféricos que arrojan principalmente países industrializados.

Existen diferentes practicas para contrarrestar el efecto invernadero entre las principales y de alto interés son las practicas agroforestales ya que son una alternativa productiva con posibilidades de mejorar los ecosistemas, además de generar servicios ambientales como el almacenamiento de carbono en los suelos y la vegetación reduciendo así las emisiones de gases con efecto de invernadero como el dióxido de carbono, metano y oxido nitroso, al acumular el carbono en cuatro componentes: sistemas radicales, biomasa sobre el suelo, hojarasca y carbono orgánico del suelo. En los cuales se han realizado pocas investigaciones

La Universidad de Nariño, mediante el Plan de Investigación, Fomento e Industrialización del Laurel de cera (PIFIL), se ha dedicado a la investigación de esta especie, con el ánimo de fortalecer la cultura de las comunidades encaminándolas a la producción enfocada en un contorno ambiental y socialmente sostenible. La especie laurel ***Morella pubescens Humb. & Bomp. ex Willd. Wilbur***, es una especie arbórea con un gran potencial para la protección de cuencas hidrográficas, recuperación de suelos y para la industria.

Este trabajo se enfocó en el desarrollo de estimar el almacenamiento y fijación de carbono de la biomasa radical del Laurel de cera ***Morella Pubescens*** en un arreglo silvopastoril y en árboles en regeneración natural en donde se logro la determinación de la biomasa radical, determinar la totalidad de captura de

---

<sup>5</sup> DELGADO, Diego. Bases ecológicas para el manejo de los recursos naturales: Cambio global antropogénico. 2001. p. 1.

carbono de la biomasa radical, y comparar la concentración de carbono en los dos agroecosistemas.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Sistemas agroforestales

Según el ICRAF (1982) la Agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y de tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos), con cultivos de campo o árboles y/o animales de manera simultanea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando de mas practicas de manejo que son compatibles con las practicas culturales de la población local.

#### 2.1.1 Clasificación de los sistemas agroforestales

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<sup>6</sup>.

Dentro de los sistemas agroforestales se encuentran los sistemas agroforestales secuéciales, de los cuales se encuentran; Agricultura migratoria: consiste en la corta y quema del bosque para cultivar la tierra durante un periodo de dos a cinco años. Luego del periodo de cultivo se deja en barbecho de cinco a diez años; de igual manera los sistemas Sistema Taungya: Son sistemas basados en plantaciones forestales asociadas con cultivos temporales con la finalidad de producir madera en la etapa final y los Barbechos mejorados:

Es un sistema rotacional en el cual se favorece ciertos árboles de regeneración natural y/o se plantan nuevos árboles, para función de protección<sup>7</sup>.

De igual manera se encuentran los sistemas agroforestales simultáneos, entre los cuales se encuentran; Cercas vivas o setos vivos: Leñosas que delimitan

---

<sup>6</sup> FASSBENDER, H. Modelos edáficos de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica: CATIE/GTS, 1993. p.493.

<sup>7</sup> *Ibid.*, p.493.

potreros complementados casi siempre con el uso del alambre de púas; Cultivos en callejones: Consiste en la siembra de cultivos anuales ó transitorios entre los espacios entre hileras de las especies leñosas, las especies leñosas preferiblemente deben ser de copa no muy ancha, de rápido crecimiento y leguminosas y los Sistemas silvopastoriles:

Son sistemas que 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”; Cultivos perennes de sombra: Combinación simultanea con cultivos perennes como el café caucho, son sistemas de cultivo intercalado donde el árbol contribuye con productos adicionales; Barreras rompevientos: Todo aquello que se opone al viento se llama rompevientos, está formada por una o varias líneas de árboles y arbustos en dirección perpendicular al viento.

## 2.2 Regeneración natural

También llamado el método de la naturaleza, constituye el apoyo ecológico para la sobrevivencia del bosque (Sabogal 1980)<sup>8</sup>; el término tiene en realidad, dos sentidos: uno estático y otro dinámico, ligados a aspectos de abundancia, composición y distribución o agregación de los individuos.

No hay un enmarcamiento claro del concepto de regeneración natural, Carvalho (1984), menciona que varía mucho de autor a autor, no habiendo consenso al respecto. En un inventario de regeneración natural realizado en el bosque nacional de Tapajos, fueron consideradas apenas las plantas con altura superior a 10cm y DAP inferior a 15cm, estas dimensiones fueron nuevamente usadas por el mismo autor en un análisis estructural de la regeneración natural realizado en el mismo bosque<sup>9</sup>.

Por otra parte se considera como regeneración natural todas las plantas con altura superior a 10cm y DAP inferior a 10cm<sup>10</sup>. Con la finalidad de evaluar el potencial de regeneración de un bosque bajo manejo, o que va a ser manejado, hace una clasificación dimensional de la regeneración natural en tres categorías

---

<sup>8</sup> SABOGAL, C. 1980. Estudio de caracterización ecológico silvicultural del bosque “Copal”, Jenaro Herrera (Loreto, Perú). Tesis Ing for. Lima, Perú, Univ. Nacional Agraria La Molina. 395 p.

<sup>9</sup> CARVALHO, J. 1984. Manejo de regeneracao natural de especies florestais. Belem, Brasil, EMBRAPA-CPATU. 22 p.

<sup>10</sup> FINOL, H. 1969. posibilidades de manejo de silvicultura para las reservas forestales de la región occidental. Revista forestavenez (Venezuela).

de vegetación: Brinzal de 0.30cm a menos de 1.50cm de altura; Latizal bajo mayores o iguales de 1.50m de altura a menos de 4.90cm de DAP y Latizal alto mayores o iguales a 5cm de DAP a menores de 9.90cm de DAP<sup>11</sup>.

El termino de regeneración se refiere, de manera general, a las fases juveniles de la especie, de esta manera cada clase diamétrica puede ser considerada como regeneración de la clase inmediatamente superior de la misma especie, por ejemplo las plantas de 10cm a 20cm de DAP pueden ser consideradas de regeneración de aquellas de DAP entre 20cm y 30cm, de la misma especie<sup>12</sup>.

### 2.3 Forma del carbono en la naturaleza

Smith<sup>13</sup> menciona que 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.

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 vida.

#### 2.3.1 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.

Para Forero las reservas totales de compuestos de carbono en la tierra se calcula, ascienden a 26 x 10<sup>15</sup> toneladas de Carbono. La mayor parte es encontrada en forma de compuestos orgánicos y solamente cerca del 0.05% en

---

<sup>11</sup> FINEGAN, B. 1996. Metodología para el monitoreo de la regeneración natural con fines de manejo forestal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 15p.

<sup>12</sup> CARVHALO, J. 1984. Manejo de regeneracao natural de especies florestais. Belem, Brasil, EMBRAPA-CPATU. 22p.

<sup>13</sup> SMITH, T., *et al.* The global terrestrial Carbon cycle, citado por ORDOÑEZ, J. En: Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, 1999. p. 9-10.

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<sup>14</sup>.

### 2.3.2 Ciclo del carbono

Para Fragoso el principal almacén de carbono lo constituye la atmósfera, que está asociado al oxígeno formando el  $\text{CO}_2$  (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  $\text{CO}_2$  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 composiciones<sup>15</sup>.

### 2.3.3. Fijación y reducción de dióxido de Carbono (conversión de materia)

Brown afirma que el aumento en la concentración de  $\text{CO}_2$  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,

---

<sup>14</sup> FORERO, 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

<sup>15</sup> FRAGOSO LOPEZ, P. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea 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.

ocasionando un calentamiento global que se manifiesta en todos los lugares de la tierra<sup>16</sup>.

Ante esta problemática mundial y las consecuencias que puede tener un incremento en la concentración del CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> realizada por la fibra de los vegetales<sup>17</sup>.

El aumento de CO<sub>2</sub> 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 mas que la vegetación boscosa. El flujo anual de CO<sub>2</sub> es de 210 Gt y anualmente se emiten 7 Gt de CO<sub>2</sub> de la cantidad total de CO<sub>2</sub>, 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 templados<sup>18</sup>.

#### 2.4 Características generales de la especie laurel de cera

El Laurel de Cera *Morella pubescens* 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 m.s.n.m., sobre una gran diversidad de suelos fértiles e incluso estériles. En Colombia se encuentra en la cordillera central (Nariño, Cauca y Antioquia).

---

<sup>16</sup> 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.

<sup>17</sup> *Ibid.* p. 161-187

<sup>18</sup> *Ibid.* p. 161-187



#### 2.4.1 Clasificación taxonómica

Según Cronquist<sup>19</sup>, citado por Muñoz: 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* Humb. & Bompl. ex Willd. Wilbur  
Nombre vulgar: Laurel de Cera u Olivo de Cera.

#### 2.4.2 Origen y distribución

Su origen es holártico, es decir de la parte norte del continente americano, aunque algunos autores indican que es originario del mar negro. Durante las glaciaciones las semillas de esta especie fueron llevadas hasta Suramérica cruzando por el canal de Panamá (por supuesto las especies actuales serían descendientes con modificaciones de estos posibles “ancestros” que se dispersaron en el continente). Esto concuerda con la información del registro palinológico fósil. Sin embargo las especies norteamericanas difieren bastante de *M. pubescens*<sup>20</sup>.

#### 2.4.3 Descripción

El mismo autor afirma que el Laurel de cera es un arbusto o árbol pequeño, sin embargo en algunos sitios alcanza alturas hasta de siete y doce metros. Su rango de adaptación en el Ecuador está entre 1000 y 3400 m.s.n.m. y en Colombia entre los 1600 y 3200 m.s.n.m.

---

<sup>19</sup> CRONQUIST, A. An integrated system of classification of flowering plants, citado por MUÑOZ, J. Ibid., p. 9

<sup>20</sup> PARRA, Carlos. 1998. Taxonomía del género *Myrica* (*Myricaceae*) en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

#### 2.4.3.1 Morfología

**Raíz:** la raíz es fibrosa pivotante, hipogea con altas ramificaciones, hasta las raíces secundarias. Poseen gran cantidad de raíces proteoides o raíces en racimo, se trata de un grupo denso de raicillas de la misma longitud que producen una gran cantidad de pelos, y ocurren en intervalos a lo largo de las raíces laterales dando la impresión de ser un cepillón de botella, característico de las plantas actinorrizas, esta se extiende fácilmente por el suelo, lo que permite oxigenar otras plantas a partir de sus raíces. La raíces presentan nódulos de forma coraloide con gran cantidad de lóbulos dispuestos en racimos, estos nódulos albergan al actinomiceto frankia, que tiene la capacidad de fijar nitrógeno<sup>21</sup>.

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

**Hojas:** Son coriáceas, simples, alternas y lanceoladas, que miden de 60 a 120 mm de largo por 15 a 25 mm de ancho, pubescentes por el haz y el envés, borde aserrado, base atenuada, las nervaduras son salientes y se bifurcan en el ápice que es agudo. Posee un olor agradable característico<sup>22</sup>.

**Flores:** No se identifican con facilidad, son de color verde con un tamaño aproximado de 2mm y se agrupan formando inflorescencias. Las flores masculinas, cuyo número varía de 4 a 7, caen muy rápido después de liberar el polen; las flores femeninas perduran más tiempo, mientras se desarrollan los ovarios formando los frutos<sup>23</sup>.

**Frutos:** se presentan dispuestos en racimos pequeños, escamosos y duros. Son pequeños, esféricos y drupáceos de 4 a 5mm de diámetro en número de 5 a 15

---

<sup>21</sup> TORREY, J. Cross-Inoculation Groups within *Frankia*. 1990. En: MUÑOZ E, J. 2003. Evaluación de la infectividad y efectividad en la fijación de nitrógeno en la simbiosis de *Frankia brunchorstrii* con Laurel de cera *Myrica pubescens* H & B. Ex WILLDENOW. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de Ingeniero Agroforestal. Pasto, Colombia.

<sup>22</sup> PARRA, Carlos. 1998. Taxonomía del genero *Myrica* (*Muricaceae*) en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Santa Fe de Bogota, Colombia.

<sup>23</sup> MUÑOZ, Z. 2000. Determinación de la madurez fisiológica de las semillas de Laurel de cera (*Myrica pubescens* Humb & Bonpl. ex Willd) Pasto, 2000. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de Ingeniero Agroforestal. Pasto, Colombia.

por amento, recubiertos por una capa de cera blanca atravesada por pelos más o menos largos. El número de frutos por kilogramo es de 32.019, los cuales el 40% es cera, 23% impurezas y 37% semillas.

Semillas: las semillas se encuentran en el interior del fruto. Su superficie es rugosa de color marrón, posee consistencia dura y el tamaño es aproximadamente de 2.5 a 2 ml. Se consideran semillas no endospermáticas. El número promedio de semillas por kilogramo es de 100.000.

#### 2.4.4 Usos

Con el laurel de cera se elaboran diferentes productos, casi todos artesanales como los que se mencionan a continuación, velón elaborado con cera de laurel, jabón con cera de laurel, cera para pisos, betún con cera de laurel, cera de laurel en el proceso de fabricación de panela<sup>24</sup>.

#### 2.4.5 Importancia ecológica

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; además las comunidades campesinas e indígenas la utilizan por sus principios medicinales<sup>25</sup>.

### 2.5 Metodología para muestreo de raíces en sistemas agroforestales.

Para el muestreo de raíces, se pueden emplear dos métodos: 1) Los métodos indirectos, que se evalúan con el uso de imágenes, fotos, modelos, etc., y 2) Los métodos directos, que consisten en la excavación de raíces o del muestreo de cilindros de suelo, para determinar su biomasa.

---

<sup>24</sup> MUÑOZ, J. et, al. Laurel de Cera: una especie promisoriosa de los Andes. Quito, Ecuador: SOBOC Grafic, 2004. p. 5

<sup>25</sup> AGUILAR, H. y CUEVA, K. 2001. Estudios de Distribución, ecología, fenología, silvicultura y aprovechamiento del Laurel de cera *Myrica pubescens* Ecuador. Universidad Nacional de Loja, Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de Ingeniería Forestal. Loja, Ecuador.

### 2.5.1 Métodos indirectos.

Estudian el comportamiento de raíces indirectamente, midiendo variables relativamente fáciles de detectar con el uso de fotos, cámaras de video, radar, desarrollo de modelos o relaciones de biomasa de raíces<sup>26</sup>. Debido a los costos elevados del muestreo de raíces, en algunos proyectos podría ser mejor estimar su biomasa usando modelos; no obstante, la literatura sobre este tema es escasa; por otra parte, este método tiene sus limitaciones tanto prácticas como económicas<sup>27</sup>.

Entre estos métodos para estimar biomasa, se encuentra el uso de modelos de biomasa específicos para cada especie, donde los valores de inventarios forestales como diámetro (DAP) y altura, se transforman a términos de biomasa con la ayuda de modelos generales<sup>28</sup>.

### 2.5.2 Métodos directos.

Estudia las raíces directamente, y arroja por lo general, niveles moderados de precisión, debido a la amplia variabilidad en la distribución de las raíces en el suelo<sup>29</sup>. Existen varios métodos directos, como: extracción de muestras de suelo-raíz de un sistema natural, excavación de un sistema radical por completo. Otros métodos son, p. Ej. Observación de raíces en paredes de vidrio instalados en paredes de suelo, para determinar la magnitud de los parámetros de raíces más importantes: longitud, área de superficie, peso y volumen<sup>30</sup>. El método más usado es el muestreo con barreno de golpe<sup>31</sup>.

Los métodos incluyen mediciones en campo y toma de muestras de los componentes, teniendo en cuenta algunos criterios de evaluación. Aunque este método es más costoso y requiere de mayor tiempo, arroja resultados de alta

---

<sup>26</sup> SCHLÖNVOIGT, Andrea. CHESNEY, Patrick., SCHLLER, Michaela., KANTEN, Rudolf. 2000. Estudios ecológicos de raíces en Sistemas Agroforestales: Experiencias metodológicas en el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Versión 2.0. 2000. p.1.

<sup>27</sup> ANDRADE, Hernán e IBRAHIM, Muhammad. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas Silvopastoriles? En: Agroforestería en las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Vol. 10 N° 39-40. 2003. 109 -116 p.

<sup>28</sup> ORTIZ, Angela y RIASCOS, Lorena. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal Cacao *Theobroma cacao* L. y Laurel *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken en la reserva indígena de Salamanca, Costa Rica. Tesis de grado I. AF., Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Ingeniería Agroforestal, Pasto, 2006. 111p.

<sup>29</sup> MacDiken, K. 1997. A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87p.

<sup>30</sup> BÖHM, W. Methods for studying root systems. Berlin: Springer-verlag, 1979. 94p.

<sup>31</sup> SCHLÖNVOIGT, A. Op. cit., p. 25.

confiabilidad, que los datos que se puedan obtener utilizando los métodos indirectos<sup>32</sup>.

En sistemas agroforestales se aplican, por su uso práctico, frecuentemente métodos para analizar la distribución de raíces en la capa superficial (0-20 cm.) hasta profundidades mayores (hasta 100 cm.). La capa superficial del suelo contiene generalmente más de la mitad del volumen total de las raíces de las especies de uso común en Sistemas Agroforestales.

### 2.5.3 Muestreo de raíces finas con barreno “Eijkelkamp”.

Entre los métodos, el muestreo de raíces finas con barreno de golpe es el más usado, ya que tiene el mínimo de destrucción y puede resultar ser el más económico, si se pretende evaluar una área relativamente grande (>1000m<sup>2</sup>). Cuando se usa el muestreo con el barreno (diámetros del cilindro interno varían de 2 – 10 cm), se estudia áreas relativamente pequeñas en cada punto de muestreo. La calidad de información e interpretación de resultados depende de la distribución y cantidad de los puntos de muestreo.

Para estudios de competencia entre diferentes especies frecuentemente se aplican muestreos a lo largo de transectos, donde se esperan mayor o menor cantidad de raíces. Estos pueden ser las distancias más cortas entre dos individuos o diagonales entre hileras de cultivos y árboles. El muestreo de raíces finas en relación con árboles individuales se realiza preferiblemente a través de puntos sobre círculos concéntricos con el árbol.

Para poder describir un sistema radical de un componente, puede ser necesario muestrear hasta el fondo máximo del enraizamiento total del suelo. En la mayor parte de los estudios interesan más las capas superficiales donde se acumulan los nutrientes y por ende las raíces finas. Cuando hay horizontes de suelo bien marcados, se recomienda dividir las muestras por esos límites de profundidades conocidas. Sin embargo, hay casos, cuando se prefiere tomar las muestras en profundidades definidas independientemente de los horizontes naturales del

---

<sup>32</sup> ORTIZ y RIASCOS. Op. cit., p. 39.

suelo. Si se incluye la capa de hojarasca o mantillo en el muestreo, esta siempre debería analizarse por separada<sup>33</sup>.

#### 2.5.3.1 Descripción del barreno.

Para el muestreo de raíces se recomienda el uso del barreno “Eijkelkamp” o un barreno similar, el cual consiste en la toma de muestras de suelo con un barreno de volumen conocido. Este barreno tiene un cilindro interior para recibir la muestra que mide 8 cm de diámetro y 15 cm de largo y el volumen es de 750 cc. Se cuenta con una llave especial para destornillar el cilindro de muestras y la corona del cilindro<sup>34</sup>.

El barreno se clava al suelo con un mazo especial, que tiene pesos plásticos que absorben los choques y no dañan el acero del barreno. Posteriormente, se deben separar las raíces del suelo y por especies se estima su biomasa<sup>35</sup>.

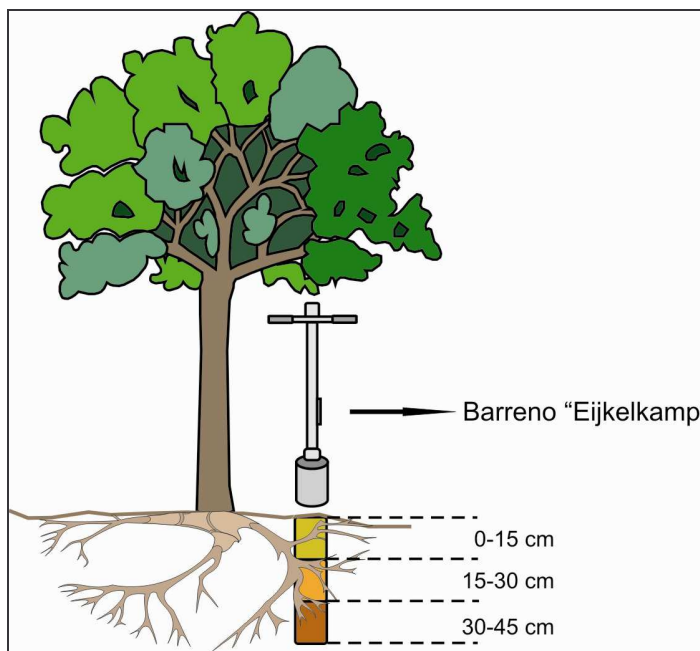
---

<sup>33</sup> SCHLÖNVOIGT, A. Op. cit., p.25.

<sup>34</sup> ORREGO, S.; DEL VALLE, J. Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: ORREGO, S.; DEL VALLE, J.; MORENO, F y ARBELÁEZ, T. Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia: Contribuciones para la Mitigación de Cambio Climático. 2003. p. 215-241.

<sup>35</sup> ANDRADE, H, y IBRAHIM, M Op. cit., p.109-116.

Figura 1 muestreo con el barreno “Eijkelkamp”



Fuente: esta investigación.

#### 2.5.4 Estudios de caso de la utilización del barreno en raíces.

Los estudios de caso se utilizan como modelos, donde se ejemplifican diversas investigaciones, en este caso estudios de la biomasa radical con el método del barrero.

Ecuaciones de biomasa de raíces en bosques primarios intervenidos y secundarios: En esta investigación se estudio la biomasa de raíces finas ( $5 < 5\text{mm}$ ) y gruesas ( $>5\text{mm}$ ) en bosques secundarios y primarios intervenidos de la cuenca del río Porce, esta localizada al noroeste del departamento de Antioquia en donde la biomasa de raíces finas fue determinada con el barreno a una profundidad de 8cm y 15cm y las raíces gruesas con método de extracción completa en seco. La biomasa total de raíces en bosques primarios intervenidos fue de 58.982,96 toneladas, con un promedio de 85.001 t/ha, y para los bosques secundarios fue de 30.198,69 t, con un promedio de 20,64 t/ha. La

biomasa de raíces en los bosques primarios intervenidos es significativamente mayor que en los bosques secundarios<sup>36</sup>.

En otra investigación se realizó la estimación de las existencias de carbono en sistemas silvopastoril (SSP) con *Acacia decurrens* y *Pennisetum clandestinum* en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, en donde se evaluó la biomasa aérea de las especies arbóreas y las pasturas, la biomasa radical, el carbono en el suelo y el carbono en las heces, utilizando el barreno a 15cm de longitud y 8cm de diámetro; en cuatro profundidades. Los resultados indican que entre el 76% y 84% de las raíces finas se encuentran en los primeros 15cm del suelo, tanto en el SSP como en el potrero testigo. En el SSP las existencias de carbono fueron de 403,328 t/ha (correspondiente a la suma del carbono almacenado en los compartimientos de biomasa aérea y subterránea de los árboles, biomasa aérea de pasturas hasta 15cm, el carbono en el suelo y la producción de heces en el ciclo de pastoreo para ocho vacas por hectárea), mientras que en potreros testigo sin árboles la acumulación de carbono alcanzó 272,03 t/ha (correspondiente a la suma del carbono almacenado en los compartimientos de biomasa aérea de pasturas, biomasa de raíces de pasturas hasta 15cm, el carbono en el suelo y la producción de heces en el ciclo de pastoreo para ocho vacas por hectárea). Así, el SSP, como era de esperarse, origina una diferencia neta positiva en cuanto al almacenamiento de carbono<sup>37</sup>.

---

<sup>36</sup> ORREGO, S, y DEL VALLE, j. Op., cit., p.222.

<sup>37</sup> ORREGO, S, y DEL VALLE, j. Op., cit., p.222.

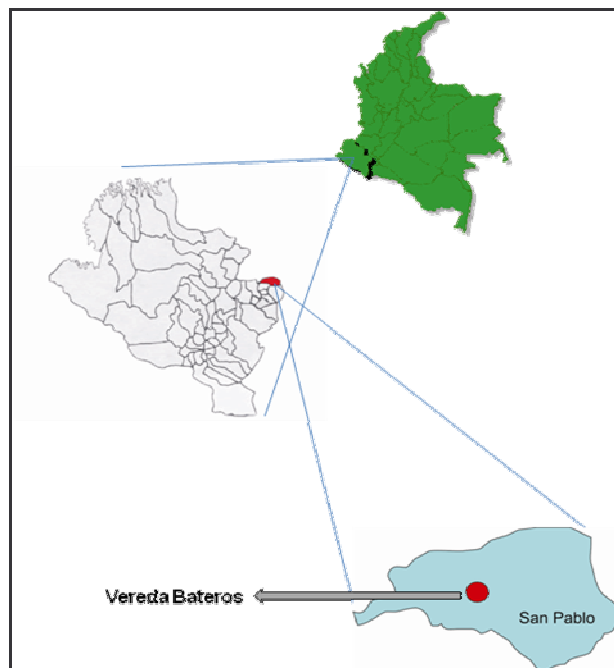


### III. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1 Localización

El presente trabajo se realizó en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño, vereda Bateros a 15 km. de la cabecera municipal, y a una altura de 2010 msnm., con precipitación pluvial media anual de 1300 mm y una temperatura promedio de 17°C. Se ejecuto la investigación en dos agroecosistemas, el primero ubicado en la parcela experimental establecida por el grupo de investigación PIFIL en el año de 1995 con la colaboración de la alcaldía de San Pablo y la comunidad de la vereda Bateros y el segundo en árboles en regeneración natural encontrados en la vereda.

Figura 2



Fuente: Esta Investigación

## 3.2 Metodología

Dentro de los métodos para obtención de carbono de la biomasa radical, se realizará por medio del barreno Eijkelkamp, recomendado por Morales (1997), citado por Orrego y Del Valle<sup>38</sup>

### 3.2.1 Etapa de Campo

Para el arreglo pastura en callejón (**Pc**), se tomo en cuenta el ensayo del arreglo agroforestal pastura en callejones establecido en el año de 1995. Mientras que para el sistema de regeneración natural (**Rn**) se determinó, realizando un recorrido de las áreas donde se encontró la especie en regeneración natural de la vereda Bateros, en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño.

#### Arreglo agroforestal pastura en callejones (**Pc**)

El Pc con una área de 4108 m<sup>2</sup>; para el año de establecimiento fueron sembrados 308 árboles distribuidos en seis bloques, (tres bloques de 4x3 y tres bloques de 4x4), para este estudio fue necesario realizar el inventario en el mes de abril del 2007 (Anexo A), para conocer la existencia y el estado de la especie por lo que se encontraron 72 árboles en el bloque de 4x3, y 115 para el bloque de distancias de 4x4, con un total de 187 árboles vivos, y 121 muertos, consignados en un mapa de campo (Anexo B).

Por lo anterior para la realización del muestreo de raíces finas y gruesas dado las condiciones de sobrevivencia del 61% de la especies, se tomo en cuenta el diámetro (DAP 10 cm sobre la base del suelo) de cada uno de los árboles vivos, para posteriormente seleccionar el 4% de ellos para un total de 14 árboles (siete para cada distancia de siembra 4x3 y 4x4), teniendo en cuenta que los DAP oscilaron entre 5-7cm, lo que permitiría realizar recomendaciones basados en el muestreo diamétrico.

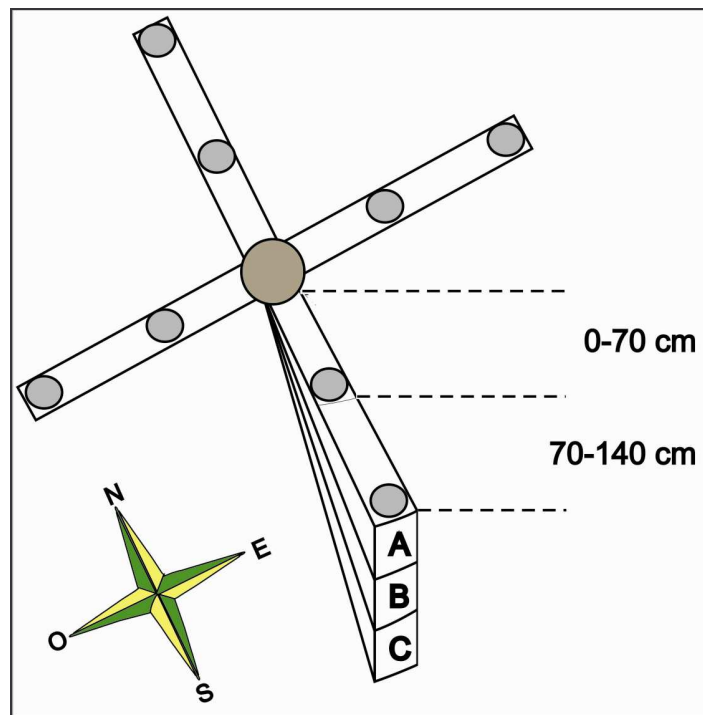
Para la extracción de raíces finas se ubico el barreno Eijkelkamp, teniendo en cuenta el muestreo de raíces con la metodología usada en palma africana por Reyes *et al.*,(1997)<sup>39</sup>, y modificada para este estudio, de la siguiente manera: a partir de la base del fuste se delimito cuatro franjas dirigidas hacia el norte, sur,

<sup>38</sup> ORREGO, S, y DEL VALLE, j. Op., cit., p.222.

<sup>39</sup> REYES, R.; BASTIDAS, S.; PEÑA, E. Op., cit., p 49-57.

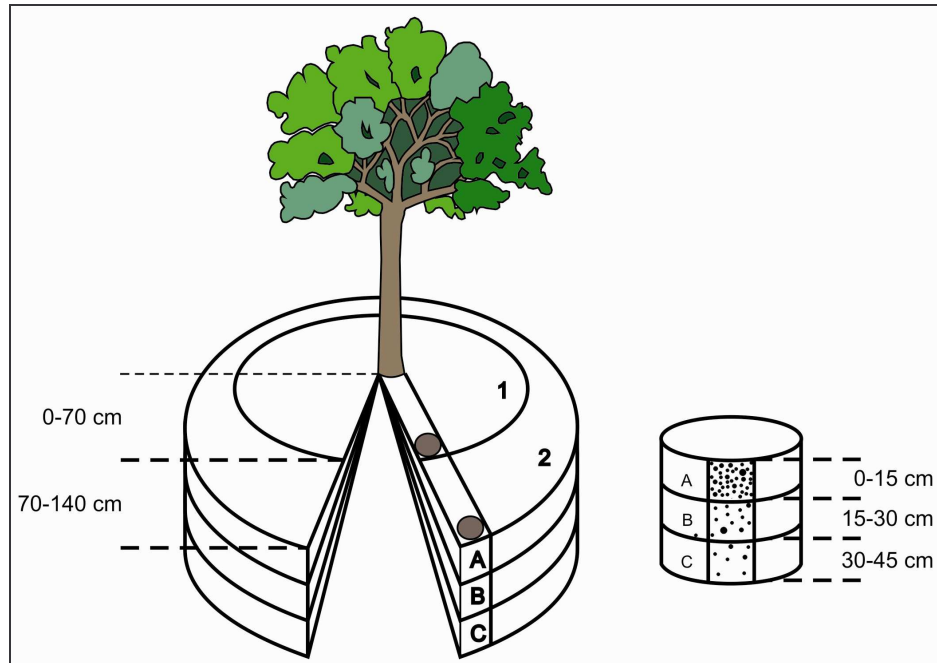
oriente y occidente, cada franja tenía 1,40 metros de largo y 0,30 metros de ancho, de la cual se sacaron 6 muestras por cada franja distribuidas así: dos para una profundidad de 15 centímetros, dos para la profundidad de 15-30, y dos para 30-45 cm. Con lo anterior, se logró extraer 24 muestras por cada árbol, con un total de 336 muestras para Pc y 168 para Rn (Figura 3).

Figura3: Distribución de las cuatro franjas por árbol.



La distribución vertical de las raíces se analizó en el criterio de profundidad anteriormente mencionada (desde 0-45cm), mientras que la distribución horizontal se estudió en dos anillos concéntricos a partir de la base del tallo, desde el perímetro del tallo hasta 0,70 m de distancia (corona 1) y desde el perímetro del tallo hasta 1,40 m de distancia (Corona 2). (Figura 4).

Figura 4. Representación grafica del muestreo por metodología de anillos concéntricos.



Con los datos de cada muestra se estimó las variables de peso de raíces por horizonte, peso de raíces por corona, peso de raíces por árbol.

Cada muestra extraída suelo-raíces, (con cilindro vol 750 cc) se pesó, posteriormente se lavaron las raíces, con abundante agua, se tamizaron, y se dejó por 24 horas en agua algunas raíces que tenían alta adhesión con el suelo. Las raíces libres de suelo se pesó en balanza electrónica, y se empacó en bolsas plásticas herméticas, las cuales fueron marcadas por sistema, por horizonte y localización (norte, sur, oriente, occidente), con su respectivo número de árbol.

En cuanto a las raíces gruesas, se seleccionó teniendo en cuenta dos árboles para el Pc, y un árbol para Rn.

Las raíces finas encontradas fueron clasificadas (desde 0.5mm hasta 10mm) y las raíces gruesas (mayores de 20).

Posterior a la clasificación y pesado, se llevó todas las muestras de raíces finas, y un kilo para raíces gruesas (2 para Pc y 1 para Rn), al laboratorio de la

Universidad de Nariño, para determinar el peso seco, y posteriormente determinar la fracción de carbono, por el método de combustión húmeda de Walkey & Black, que para MacDicken (1997) citado por Orrego y del Valle<sup>40</sup>, este se convirtió en un método sencillo y rápido para encontrar fracciones de carbono. El resultado de estas muestras secas se trituraron con un mortero, finamente para que pase por un tamiz de 1mm<sup>41</sup> y se determine la fracción de carbono, mediante el método de incineración.

Árboles en regeneración natural.

Para la selección de aboles de Laurel de cera en Rn, se tubo en cuenta los mismos criterios diamétricas del Pc, teniendo en cuenta que este agroecosistema con la especie Laurel de cera no presento hallazgos de intervención (Cortado, podado, fertilizado, entre otras).

### 3.3 Etapa de laboratorio

#### 3.3.1 Lavado de raíces (manual)

Las muestras de suelo-raíces se sumergieron el agua durante una noche para facilitar el lavado al día siguiente. En caso de suelo pesado puede usar un dispersante químico como hexametofosfato de sodio para aumentar el proceso de separación de raíces de material arcilla. La inmersión de suelo-raíces en agua antes del lavado tiene algunas desventajas como: requiere más mano de obra, discoloración de raíces, desrupción de tejido de raíces y pérdida de peso.

Para el lavado se pasó la muestra a un molde pequeño, se dejaron flotar las raíces en agua y se decantaron por un tamiz (diámetro de la malla de 1mm) dejando el suelo en el molde. Este proceso se repitió varias veces hasta que ya no se encontraron más raíces en el suelo restante. Las raíces se almacenaron en bolsas “zipper” hasta el momento de analizarlas en laboratorio.

---

<sup>40</sup> ORREGO, S y DEL VALLE, J. Op., cit, p. 223.

<sup>41</sup> APRAEZ, Edmundo. El análisis químico de alimentos. Universidad de Nariño. 2000. 100p.

### 3.3.2 Determinación de Biomasa y Carbono.

Para la toma de estos datos se tuvo en cuenta el criterio de Pearsus<sup>42</sup>, donde se pesó cada muestra fresca con su respectiva identificación en una balanza y luego todas las muestras se depositaron en bolsas de papel y se sometieron a un secado a 80°C durante 48 horas o hasta tener un peso constante para estimar la materia seca. Para evitar problemas de contaminación de las raíces con suelo mineral se debe cenizar la muestra y expresar los valores como peso seco libre de ceniza<sup>43</sup> (Anexo C)

Los factores de conversión de peso fresco a peso seco se calcularan colocando las muestras en el horno aproximadamente a 80°C por un periodo de 24 a 72 horas, hasta obtener un peso constante<sup>44</sup>. Posteriormente se estimara el porcentaje de materia seca de las muestras mediante la siguiente ecuación:

$MS\% = \frac{PSM}{PFM} \times 100$	MS = porcentaje de materia seca PSM = peso seco de la muestra (g) PFM = peso fresco de la muestra en campo (g)
-------------------------------------	--

### 3.3.3 Contenido de humedad

Es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la muestra seca<sup>45</sup>. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$CH\% = \frac{PFM - PSM}{PSM} \times 100$	CH%= contenido de humedad PFM = peso fresco de la muestra (g) PSM = peso seco de la muestra (g)
---	---

<sup>42</sup> PEARSUS. Citado por: DELGADO PORTILLA, Ana Marcela y MARTINEZ MELO, Yuri Viviana. Estimación y Evaluación de la biomasa y captura de carbono de 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, Tesis de grado I. AF., Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Ingeniería Agroforestal, Pasto, 2006. p. 31.

<sup>43</sup> SCHLONVOIGT, A. Op. cit. p. 9.

<sup>44</sup> SEGURA, M. y KANNINEN, M. 2002. Inventarios para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Eds. Orozco, L; Brumér, C. Turrialba, CR. CATIE. p 202-22.

<sup>45</sup> 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.

### 3.3.4 Biomasa de los componentes

Una vez se obtuvo la materia seca y el volumen, se calculo la biomasa multiplicando el porcentaje de materia seca por el peso del componente registrado en campo, para cada uno de los árboles en evaluación y se realizó el análisis radical mediante la siguiente ecuación<sup>46</sup>.

$B = \frac{PFC \times MS\%}{100}$	B= biomasa radicular (g) PFC= peso fresco tomado en el campo MS= porcentaje materia seca
-----------------------------------	--

### 3.4. Fracción de carbono

Para determinar la fracción de carbono promedio de las raíces, se realizó por medio de la técnica del analizador de CHN. La fracción de carbono se determinara en el laboratorio especializado de suelos de la Universidad de Nariño.

#### 3.4.1 Carbono almacenado

Para el carbono almacenado en estas especies, emplearemos la ecuación recomendada por Ávila 2000<sup>47</sup>.

$CA = B_t \times FC$	CA= Carbono almacenado (Kg) Bt= Biomasa total (Kg) FC= Fracción de carbono
----------------------	--

### 3.5. Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico se realizo la prueba de Tukey para el contenido de humedad en las raíces finas en ambos agroecosistemas, ya que los datos obtenidos de biomasa y carbono eran relativamente pocos para realizar un buen análisis comparativo.

<sup>46</sup> SEGURA, M. y VENEGAS, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Serie Técnica No. 306. Turrialba, CR, CATIE. 46 p.

<sup>47</sup> AVILA, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.99p.





Figura 5. Muestreo, selección, pesado y maceración de las raíces.



#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 14 árboles seleccionados para el arreglo agroforestal **pasturas en callejones** (Pc) y los siete en **regeneración natural** (Rn), se obtuvo los siguientes resultados:

##### 4.1 Variables evaluadas

Los árboles fueron seleccionados y evaluados con la variable de crecimiento diámetro (DAP), que permitió tomar ejemplares por clases diamétricas y posteriormente llevarlos a la parcela, esto permitió conocer la cantidad de biomasa radical por sistema, y el carbono almacenado de la especie Laurel de cera *Morella pubescens*.

Los datos recolectados en campo se consignaron en las siguientes tablas.

Variables dasométricas evaluadas en 21 árboles de *Morella pubescens*, en los sistemas pastura en callejones y regeneración natural

Sistema agroforestal

Arbol #	DAP	Codigo	
1	5,2	A1	4x4
2	5,8		
3	5,4	B1	
4	6,4		
5	5,8		
6	6,3	C1	
7	6,8		
8	6,1	A2	4x3
9	6		
10	6,1	B2	
11	6,5		
12	5,8		
13	6,5	C2	
14	6,2		

Regeneracion natural

Arbol #	DAP
1	5,4
2	5,2
3	5,7
4	6,2
5	7
6	5,3
7	6

En la anterior tabla se observa que los DAP, para los árboles seleccionados en el sistema pastura en callejones y regeneración natural, oscilo entre 5,2 a 7.

Otros estudios reportados por Jaramillo (2007)<sup>48</sup> muestran que para un muestreo de raíces finas y gruesas, además de tomar DAP, se pueden tomar otras variables como área basal y área de copa, las cuales pueden correlacionarse y generar modelos alométricos. Por lo anterior en esta investigación se tomó una sola variable (DAP), y no se logró recoger los anteriores criterios debido a que los árboles de *M. pubescens* de regeneración natural al igual que el arreglo agroforestal presentaron modificaciones estructurales por la continuo aprovechamiento de los frutos extraídos para venta de cera de laurel.

#### 4.2 Estimación de la biomasa radical (finas y gruesas), en *Morella pubescens* en el arreglo agroforestal pasturas en callejones.

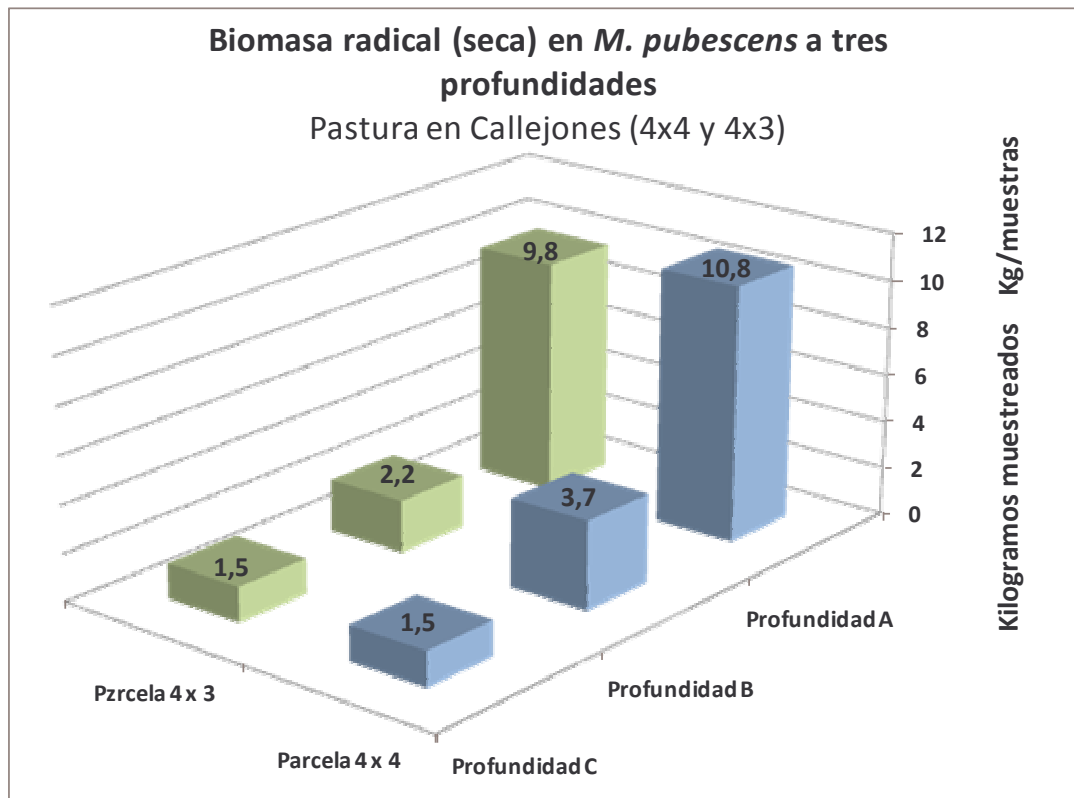
Con relación a la biomasa radical (rf: raíces finas) de *M. pubescens*, se observó que existe una mayor cantidad (biomasa en kg) en la profundidad A disminuyendo progresivamente a medida que se profundiza el muestreo (B y C), (figura 6). Lo mismo es reportado por Herrera (2003)<sup>49</sup>, donde el muestreo de raíces, demuestra que su dinámica para raíces secundarias, es alta, debido en que dentro de las fases tempranas de la sucesión, crecimiento y adaptación, las plantas asignan una mayor proporción de recursos fotosintéticos al desarrollo de un potente sistema radical, en especial de raíces finas, las cuales muestran una tendencia creciente para suplir los requerimientos de agua y nutrientes.

---

<sup>48</sup> JARAMILLO GUERRERO, Sandra. Estimación de la captura de carbono en la biomasa radicular en aliso *Alnus jorullensis* H.B.K en dos sistemas agroforestales en la granja experimental botana, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño. Tesis Ing Agroforestal. P 43.

<sup>49</sup> HERRERA, M.; DEL VALLE, J. y ORREGO, S. Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques intervenidos y secundarios. En: ORREGO, S.; DEL VALLE, J.; MORENO, F. y ARBELÁEZ, T. Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático. 2003. p. 151.

Figura 6 Biomasa radical (seca en kg/muestras) para raíces finas, en el sistema pastura en callejones en las parcelas a distancias de 4x3 y 4x4.



Profundidad A: 0-15 cm abajo del suelo.

Profundidad B: 15-30 cm abajo del suelo.

Profundidad C: 30-45 cm abajo del suelo.

En la anterior figura (6) se observa que existe mayor biomasa radical en la profundidad A en comparación de la B y C, presentándose 10,8 kg/muestras para Laurel sembrados a distancia de 4x4 y 9,8 kg/muestras a distancia de 4x3.

Es así que el muestreo de raíces finas en *M. pubescens* al igual que en otras especies arbóreas, se comportan de igual manera en la su distribución radical. Sierra *et al* (2001)<sup>50</sup> con investigaciones realizadas en Colombia y Deans *et al* (1996)<sup>51</sup> evalúan el comportamiento de las raíces en relación con la profundidad del suelo, que al igual su desarrollo y distribución en el dependerían de la su

<sup>50</sup> SIERRA, C; DEL VALLE, J; ORREGO, S. 2001. Ecuaciones de biomasa y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales maduros y tropicales de Colombia. En: Simposio internacional de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 12 p.

<sup>51</sup> Deans, J; Moran, J; Grace J. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduos tropical moist forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management*.88:215-225.

estructura, principalmente de su porosidad, mientras que Jackson *et al* (1997)<sup>52</sup>, Raich (1983)<sup>53</sup> y Morales (1997)<sup>54</sup> mencionan que el comportamiento de las raíces es exponencial, es decir a mayor profundidad presenta una disminución de la biomasa.

En estudios de fijación de carbono para laurel de cera realizados en la misma zona con biomasa aérea, se considera de gran importancia debido a que el componente aéreo (hojas) influye directamente en el almacenamiento del CO<sub>2</sub> dentro del proceso fotosintético y que su respectiva estimación en diferentes usos de la tierra se ve necesario investigar. Se conoce que el CO<sub>2</sub> esta estrechamente relacionado con el cambio global, tal es el caso de los bosques y su relación con el ciclo del carbono. Mientras que existen escasos estudios del aporte de O<sub>2</sub> presentado por la biomasa radical, que contrarreste el CO<sub>2</sub>. MacDiken (1997) citado por Andrade e Ibrahim<sup>55</sup>, afirman que la estimación del almacenamiento de carbono en biomasa bajo el suelo (raíces) es importante en proyectos de fijación de carbono, ya que esta representa entre un 10 y un 40% de la biomasa total.

Con relación a la biomasa radical (rg: raíces gruesas) de *M. pubescens*, se observo que existe una mayor cantidad en la parcela a distancias de 4x3 que en la parcela a distancias de 4x4 (figura 6)

La figura 7 muestra los datos obtenidos de biomasa radical (seca) para raíces gruesas en *M. pubescens* en el arreglo Pastura en Callejones (4x4 y 4x3), indicando que en las parcelas a distancias de 4x3 es donde se encontró mas cantidad de biomasa seca, sin embargo para Klinge (1993), Coutts *et al* (1999) citados por Sierra *et al*<sup>56</sup>, la importancia radica en que las raíces gruesas son responsables del anclaje y soporte estructural de la planta y proveen la red de conducción de sustancias asimiladas por las raíces finas.

---

<sup>52</sup> JACKSON, R; MOONEY, H; SCHULZE, D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. Ecology. National Academy of Sciences. 94:7362-7366.

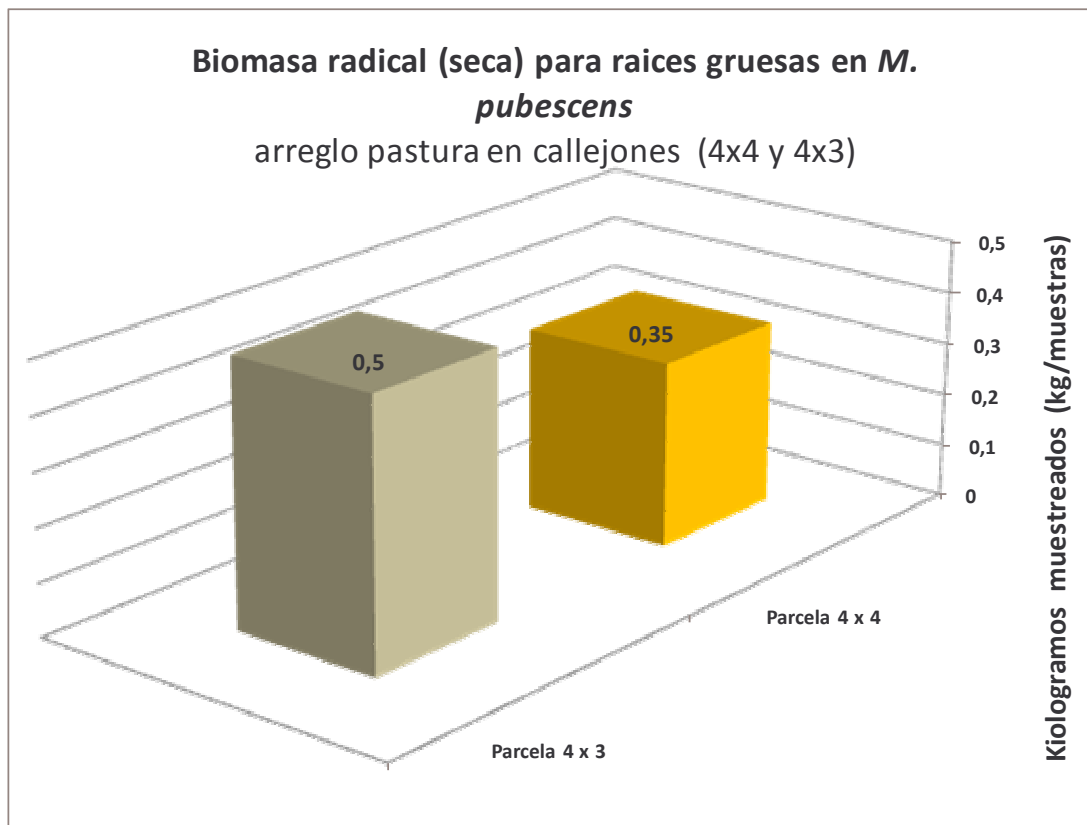
<sup>53</sup> RAICH, J. 1983. Effects of Forest Conversion of the Carbon Budget of a Tropical Soil. Biotropica 15(3):177-184.

<sup>54</sup> MORALES, A. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. En: Simposio Internacional - Posibilidades del Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. CATIE. 11 p.

<sup>55</sup> ANDRADE, Hernán J. e IBRAHIM, Muhammad. Fijación de carbono en sistemas silvopastoriles: Una propuesta metodológica. Conferencia electrónica: Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales (LEAD-PFI-ECONF-L) Octubre – Noviembre de 2001. [citado, el 19 de mayo de 2006] Disponible en internet: <http://lead.virtualcentre.org/es/ele/conferencia3/articulo5.htm>.

<sup>56</sup> SIERRA, C.; DEL VALLE, J. y ORREGO, S. Op., cit., p. 12.

Figura 7 Biomasa radical (seca en kg/muestras) para raíces gruesas.



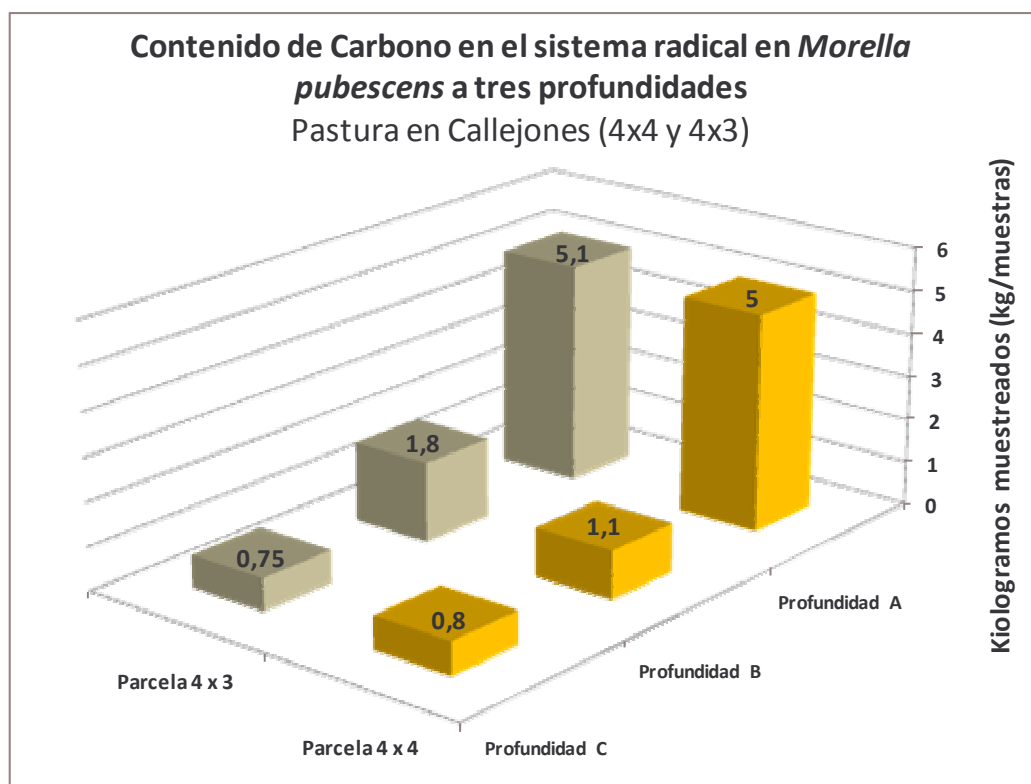
4.2.1 Contenido de carbono en el sistema radical de *Morella pubescens*.

4.2.2 Carbono en las raíces finas.

Como se muestra en la figura 8, la mayor concentración de carbono en las raíces finas esta presente en el profundidad A en ambas parcelas, encontrando mayor concentración en la parcela de 4x3, y disminuyendo progresivamente en la profundidad B y C. Esta característica es similar en otros sistemas agroforestales donde los datos han mostrado que especies arbóreas mantienen

altas concentraciones de carbono en las raíces en los primeros centímetros de suelo Dhyani y Tripathi (2000) citados por Oelbermann *et al*<sup>57</sup>.

Figura 8. Contenido de carbono en el sistema radical de *Morella pubescens* Arreglo Pastura en Callejones (4x4 y 4x3).



Profundidad A: 0-15 cm abajo del suelo.  
Profundidad B: 15-30 cm abajo del suelo.  
Profundidad C: 30-45 cm abajo del suelo.

Como se observa en la figura 8, el mayor contenido de carbono es encontrado en la parcela a distancias de 4x3, esta variación entre las dos distancias radica en que están influenciados por factores edáficos y climáticos Sanford & Cuevas (1996), Brown (1997) citados por Sierra *et al*<sup>58</sup>.

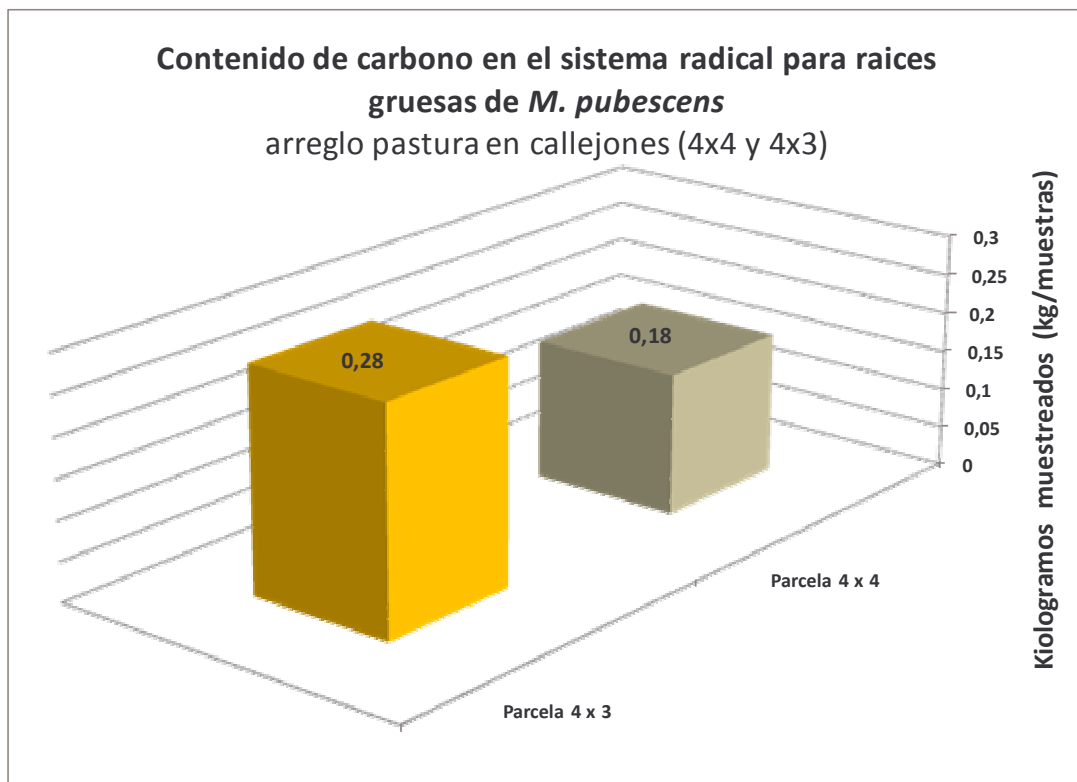
<sup>57</sup> OELBERMANN, Maren; VORONEY, Paul y SCHLONVOIGT, Andrea. Cuantificación del carbono radicular de *Eritrina poeppigiana* de cuatro y diez años establecidos en callejones en Costa Rica. *En: Agroforestería en las Américas* (CATIE), Turrialba, Costa Rica, No 41-42, 2004. 92-96 p.

<sup>58</sup> SIERRA, C.; DEL VALLE, J. y ORREGO, S. Op., cit, p. 12.

#### 4.2.3 Carbono en las raíces gruesas.

El mayor contenido de carbono para las raíces gruesas fue hallado en la parcela con distancias de 4x3 encontrando una diferencia significativa que se puede observar en la figura 9.

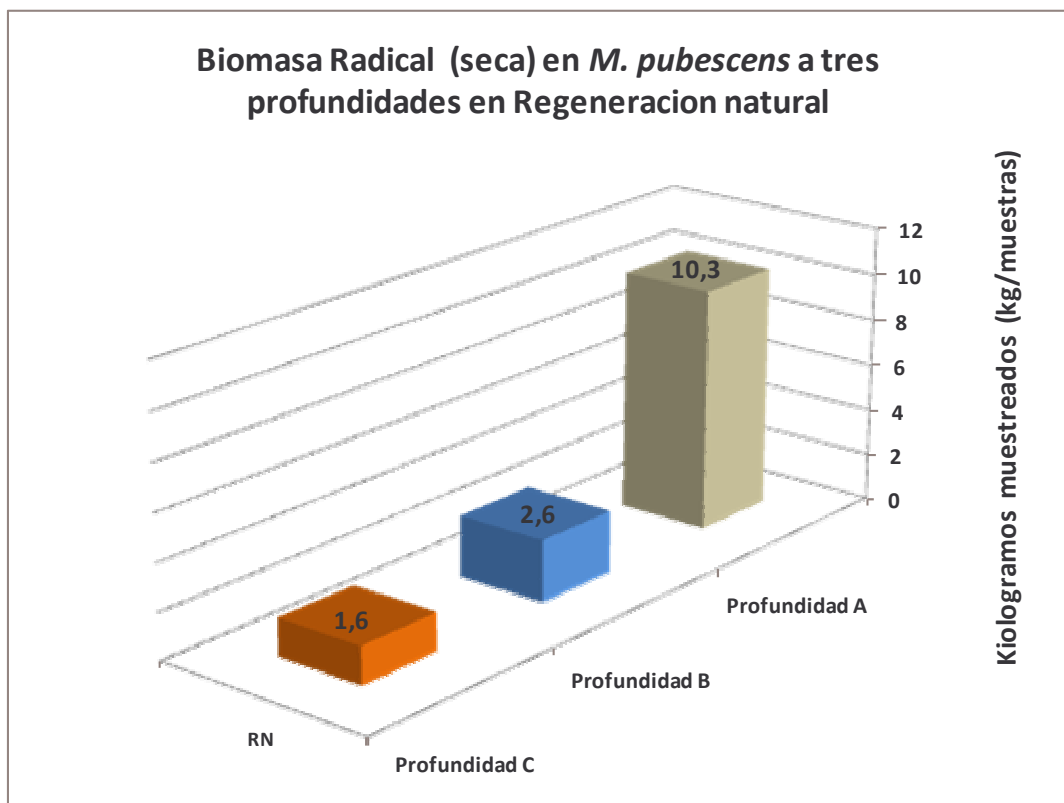
Figura 9. Contenido de carbono en el sistema radical para raíces gruesas de *Morella pubescens*, arreglo pastura en callejones (4x4 y 4x3)



#### 4.3 Estimación de la biomasa radical (finas y gruesas), en *Morella pubescens* en regeneración natural.

Con relación a la biomasa radical (raíces finas) de *Morella pubescens* en regeneración natural, se observó que existe al igual que en el sistema **Pc** una mayor cantidad de biomasa en la profundidad A disminuyendo en la profundidad B y C, progresivamente (figura 10).

Figura 10. Biomasa radical (seca en kg/muestras) para raíces finas a tres profundidades.



Horizonte A: 0-15 cm abajo del suelo.  
Horizonte B: 15-30 cm abajo del suelo.  
Horizonte C: 30-45 cm abajo del suelo.

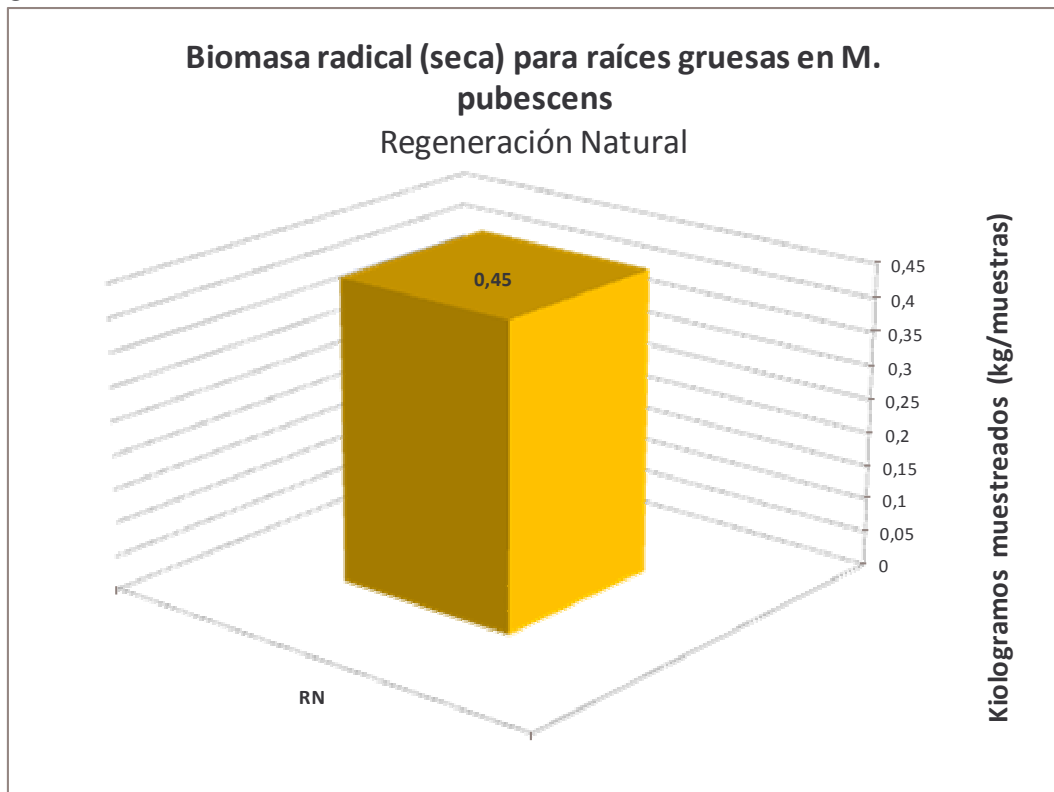
Las raíces finas además de distribuirse principalmente en los primeros centímetros del suelo, disminuyen exponencialmente a medida que aumenta la



profundidad<sup>59</sup>, al igual que los estudios realizados por Morales y Beer (1998)<sup>60</sup>, quienes reportan que las raíces finas superficiales de *Eucalyptus deglupta* y *Coffea arabica* se desarrollaron bien en los estratos superficiales (58% entre 0-10cm) y sub-superficialmente (21% entre 10-20cm) del suelo y las raíces de ambas especies disminuyeron con la profundidad.

La figura 11 muestra el contenido de biomasa seca (kg/muestras) de raíces gruesas en *M. pubescens* en regeneración natural.

Figura 11. Biomasa radical (seca en kg/muestras) para raíces gruesas en regeneración natural.



<sup>59</sup> SIERRA, C.; DEL VALLE, J. y ORREGO, S. Op., cit., p. 12.

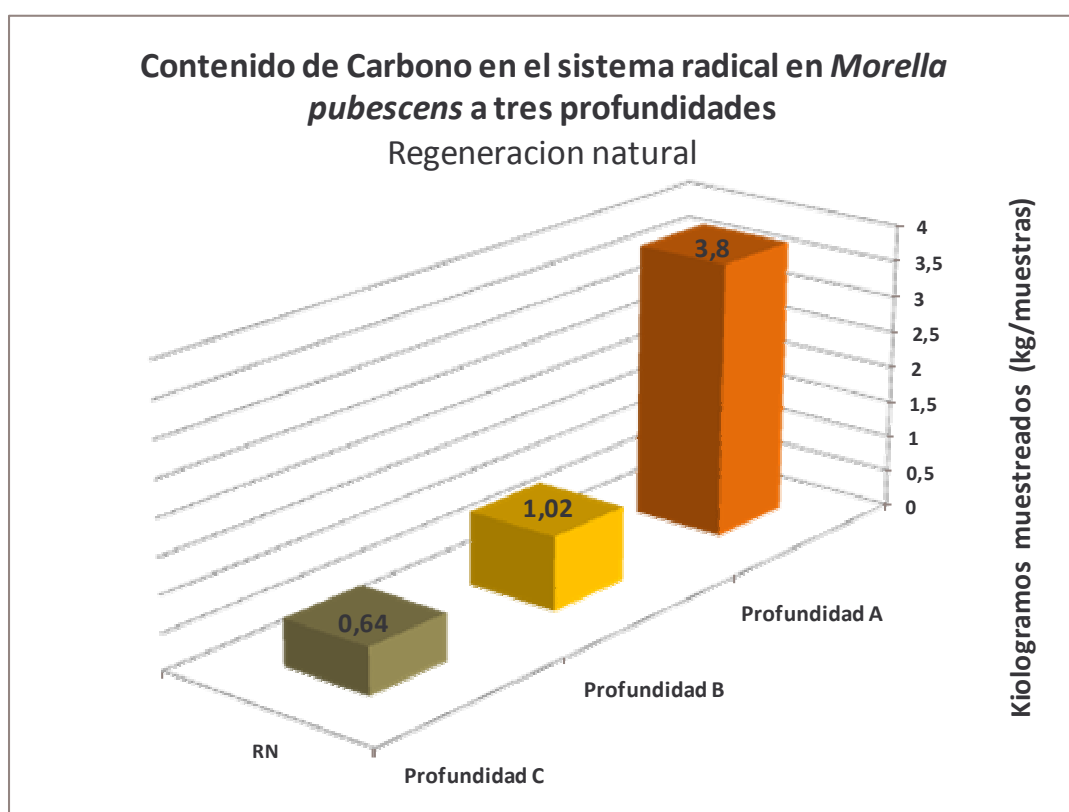
<sup>60</sup> MORALES, Eddy y BEER, John. Distribución de raíces finas de *Coffea arabica* y *Eucalyptus deglupta* en cafetales del valle central de Costa Rica. En: Agroforestería de las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica, Vol. 5. Nº 17-18, 1998. 46 p.

4.3.1 Contenido de carbono en el sistema radical de *Morella pubescens*.

4.3.2 Carbono en las raíces finas.

Como se muestra en la figura 12, la mayor concentración de carbono en las raíces finas esta presente en el profundidad A y disminuyendo progresivamente en la profundidad B y C. Esta característica es similar para el arreglo agroforestal pasturas en callejones.

Figura 12. Biomasa radical (seca en kg/muestras) para raíces finas, en regeneración natural.



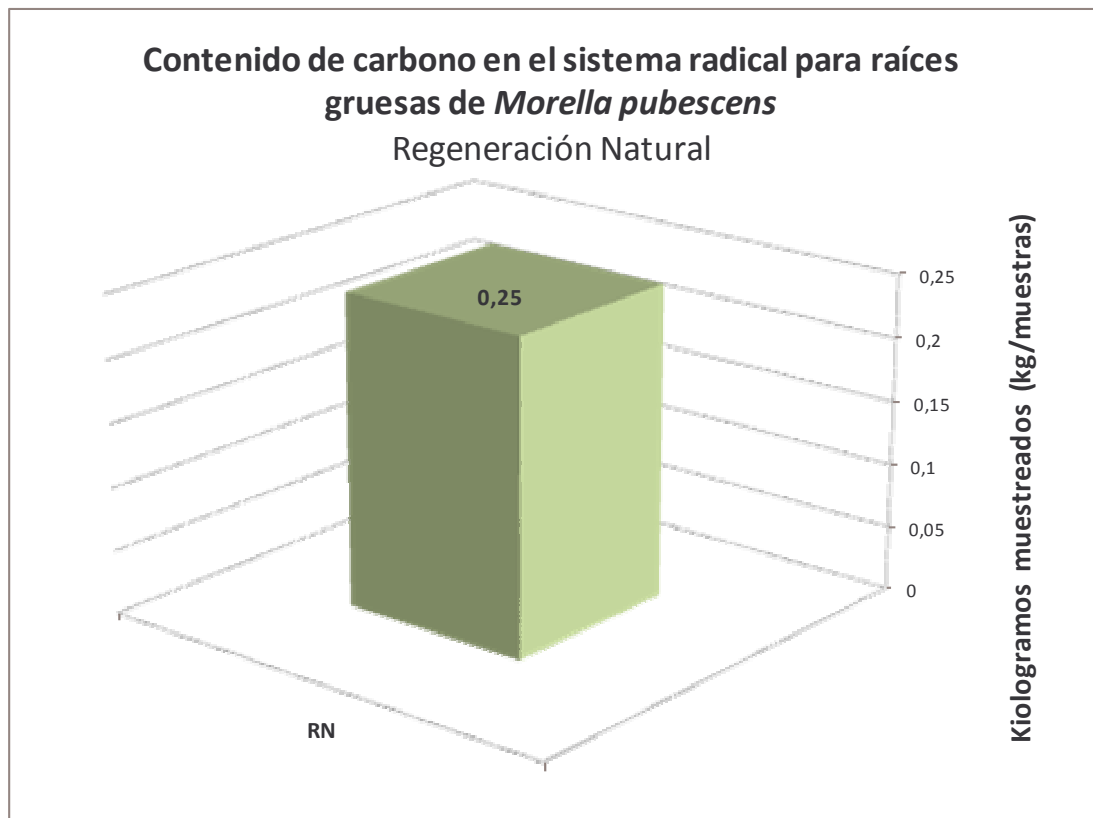
Horizonte A: 0-15 cm abajo del suelo.

Horizonte B: 15-30 cm abajo del suelo.

Horizonte C: 30-45 cm abajo del suelo.

#### 4.3.3 Carbono en las raíces gruesas.

Figura 13. Kilogramos de carbono en la muestra de la biomasa seca de raíces gruesas.



#### 4.5 Análisis estadístico, prueba de Tukey.

Al realizar el análisis de varianza para la variable Humedad indico que no hay diferencias significativas  $p > 0,005$ , es decir los contenidos de humedad no varían entre los sistemas (distancias de siembra) evaluados.

La prueba de comparación de promedios indica que la mayor cantidad humedad se encontró en el sistema con distancias de siembra correspondiente a 4x4 seguido de 4x3 y el de menor contenido el de regeneración natural. (Anexo D).

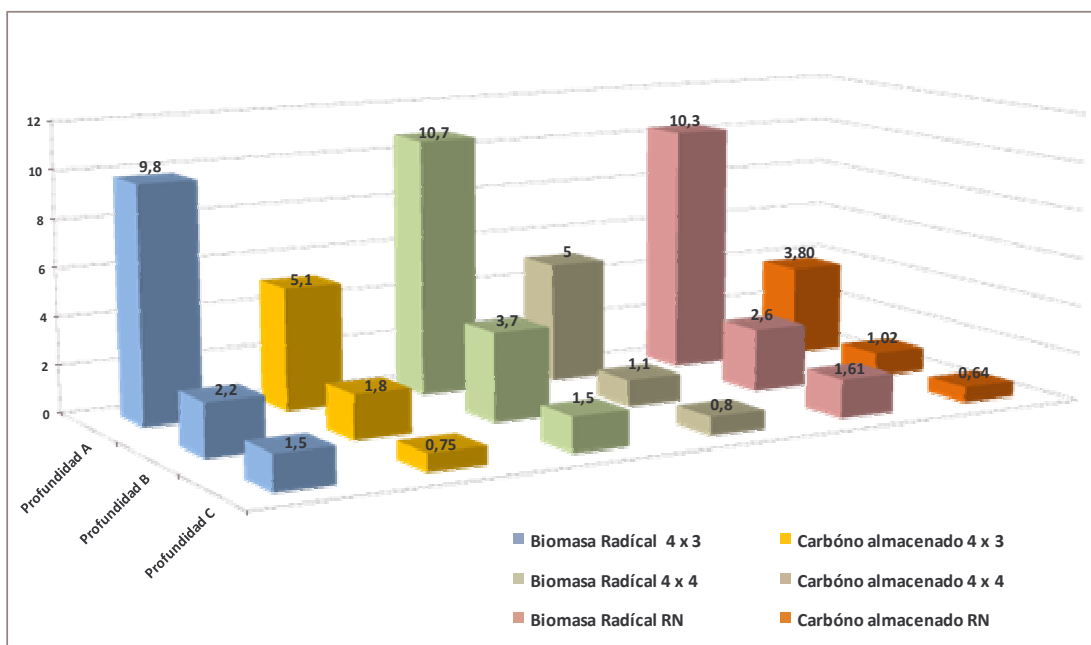
#### 4.4 Comparación del arreglo agroforestal y los árboles en regeneración natural.

##### 4.4.1 Raíces finas.

En cuanto a la biomasa radical y carbono almacenado para raíces finas; como se observa en la figura 14, se aprecia claramente que hay mayor cantidad de biomasa radical en el arreglo silvopastoril para las distancias de 4x4 con 10,7 kg/muestras, seguido con 10,3 kg/muestras para RN y finalmente 9,8 kg/muestras para 4x3, disminuyendo progresivamente para las otras dos profundidades. Con respecto a los datos de carbono almacenado se obtuvo 5,1 kg/muestras para la parcela con distancias de 4x3, seguida con 5 kg/muestras para la parcela de 4x4 y finalmente para regeneración natural con 3,8 kg/muestras disminuyendo progresivamente en las otras profundidades.

Esto se debe a que la biomasa radical y el carbono almacenado son proporcionales a la fracción de carbono encontrada para cada sistema y para cada profundidad.

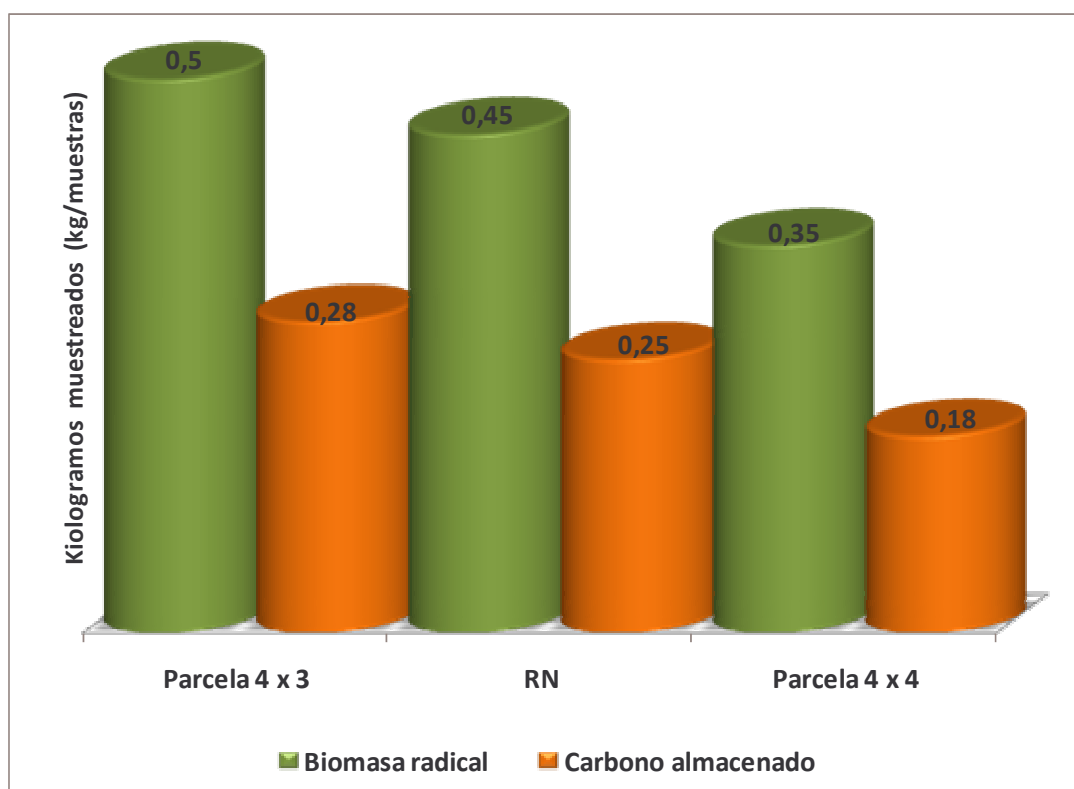
Figura 14. Biomasa y carbono total presente en los dos agroecosistemas para raíces finas.



#### 4.4.2 Raíces gruesas.

La figura 15 muestra los datos obtenidos de biomasa radical y carbono almacenado para raíces gruesas tanto en el sistema pastura en callejones, como en regeneración natural. Se puede apreciar notoriamente que hay mayor cantidad de biomasa radical en el arreglo silvopastoril para las distancias de 4x3 con 5,0 kg/muestras, seguido con 4,5 kg/muestras para regeneración natural y finalmente 0,35 kg/muestras para la parcela a distancias de 4x4. Con relación a los datos de carbono almacenado se obtuvo 2,8 kg/muestras para la parcela con distancias de 4x3, seguida con 0,25 kg/muestras para regeneración natural y finalmente para la parcela de 4x4 con 0,18 kg/muestras.

Figura15. Biomasa y carbono total presente en los dos agroecosistemas para raíces gruesas.



#### 4.5. Extrapolación de datos.

Para la extrapolación de datos se calculo el volumen del anillo concéntrico numero 2 de 140 cm de radio, con una profundidad de 45 cm, teniendo un volumen de 2,8 m<sup>3</sup> y se calculo el volumen del cilindro del barreno “Eijkelkamp” de 7 cm de radio, obteniendo un volumen de 0.0023 m<sup>3</sup>. Para determinar la cantidad de población de muestra, se dividió el volumen del anillo concéntrico por el volumen del cilindro del barreno, donde se determino un número de 1225 unidades muestrales para cada árbol.

Posterior a esto, se tomaron los datos de biomasa fresca en campo a las tres profundidades para cada uno de los arboles muestreados y se calculo la totalidad de la biomasa muestreada por árbol, en cada uno de los sistemas. Lo mismo se realizo para biomasa seca. (Anexo E y F).

A continuación se puede apreciar el promedio de biomasa fresca y seca expresada en gramos por árbol.

	promedio 4x4	promedio 4x3	promedio RN
<b>FRESCO</b>	69,9	94,23	69,09
<b>SECO</b>	31,8	27,0	30,5

La población de árboles de Laurel de cera por hectárea para cada una de las distancias en el arreglo silvopastoril y en regeneración natural es la siguiente:

Distancia de Siembra	Num/árb/ha
4x4	625
4x3	833
RN	200

La figura 16 muestra el promedio de los valores de biomasa fresca y seca para cada unos de los sistemas expresados en toneladas por hectárea, esto con el fin de determinar la cantidad de biomasa radicular y contenido de carbono almacenado total en cada uno de los sistemas.

Figura 16. Biomasa total, húmeda y fresca expresada en toneladas por hectárea presente en los dos agroecosistemas, para raíces finas.

1225	Numero de cilindros por arbol	Humedo
85,63	Kilos total por arbol	
0,09	Toneladas por arbol	
<b>53,52</b>	Toneladas por hectarea 4x4	
1225	Numero de cilindros por arbol	
115,43	Kilos total por arbol	
0,12	Toneladas por arbol	
<b>96,15</b>	Toneladas por hectaria 4x3	
1225	Numero de cilindros por arbol	
84,64	Kilos total por arbol	
0,08	Toneladas por arbol	
<b>16,93</b>	Toneladas por hectaria RN	

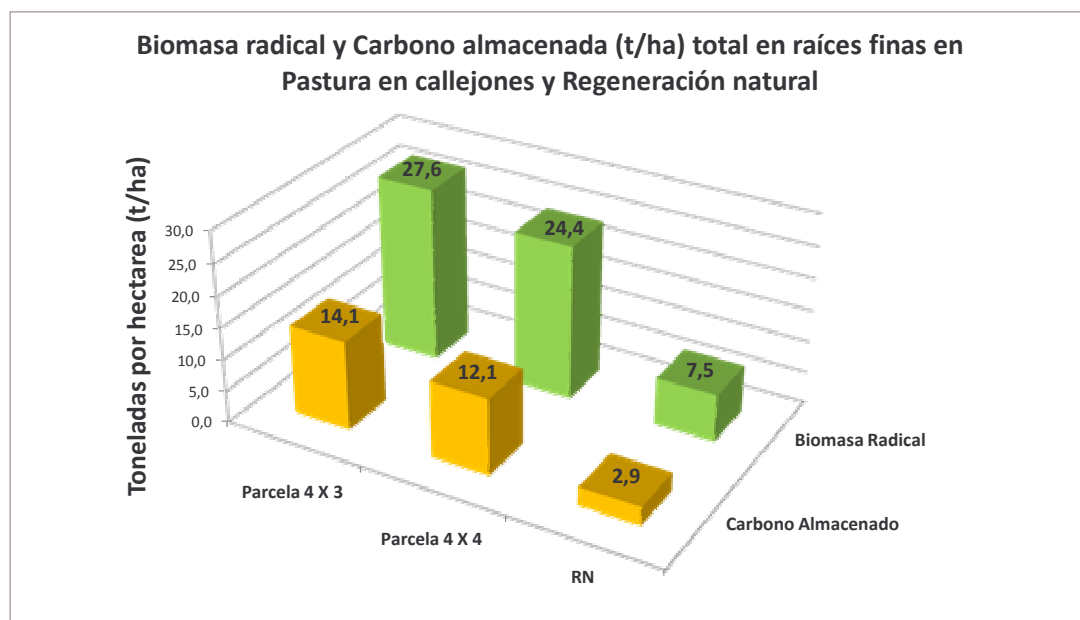
1225	Numero de cilindros por arbol	Seco
38,96	Kilos total por arbol	
0,04	Toneladas por arbol	
<b>24,35</b>	Toneladas por hectarea 4x4	
1225	Numero de cilindros por arbol	
33,08	Kilos total por arbol	
0,03	Toneladas por arbol	
<b>27,55</b>	Toneladas por hectaria 4x3	
1225	Numero de cilindros por arbol	
37,36	Kilos total por arbol	
0,04	Toneladas por arbol	
<b>7,47</b>	Toneladas por hectaria RN	

<b>4 x 4</b>	<b>Humedo</b>	<b>53,52</b>
	<b>Seco</b>	24,35
<b>4 x 3</b>	<b>Humedo</b>	96,15
	<b>Seco</b>	27,55
<b>RN</b>	<b>Humedo</b>	16,93
	<b>Seco</b>	7,47

Una vez obtenidos los datos, se continuó con el cálculo de biomasa radical y carbono almacenado tomando como referente un promedio de la fracción de carbono determinada en laboratorio. Para raíces finas en regeneración natural se obtuvo en promedio una fracción de carbono de 0,38, para la parcela de 4x3 un promedio de 0,51 y finalmente de 0,50 para la parcela de 4x4.

La figura 17 muestra los datos obtenidos de la extrapolación de datos de biomasa radical seca para raíces finas tanto en las parcelas en el arreglo agroforestal como en regeneración natural, expresado en toneladas por hectárea.

Figura 17. Extrapolación de los datos obtenidos en biomasa radicular y carbono almacenado en el sistema pastura en callejones y regeneración natural.



Como se puede observar en la figura 18 la parcela del arreglo agroforestal pastura en callejones a distancias de 4x3 es la que presenta mayor contenido de biomasa radicular seca y de carbono almacenado, seguida de la parcela a distancias de 4x4 y de regeneración natural respectivamente.

Al extrapolar los datos obtenidos la biomasa y el carbono almacenado presente en la totalidad de los árboles encontrados por hectárea, tenemos un aumento significativo en los resultados.



## CONCLUSIONES

- En el sistema silvopastoril – pastura en callejones, se encontró una mayor acumulación de biomasa radical total en los árboles evaluados, en regeneración natural se presento una menor acumulación de biomasa.
- Se encontró que hay mayor biomasa radical a menor distancia de siembra, ya que las condiciones edáficas de los predios seleccionados varia, esto se pudo observar ya que en las parcelas con distancias de 4x3 del arreglo agroforestal pasturas en callejones presento el mayor volumen de biomasa radical seca y de carbono almacenado.
- La cantidad de biomasa radical seca presente en la parcela a distancias de siembra de 4x3 es de 27.6 t/ha, disminuyendo en la parcela de 4x4 a 24,4 t/ha y 7,5 t/ha en regeneración natural.
- La concentración de carbono almacenado en la biomasa radical vario significativamente en los dos agroecosistemas, donde el que mayor captura es el arreglo silvopastoril encontrando 27,6 t/ha para las distancias de 4x3, 12,1 t/ha para 4x4 y finalmente 2,9 t/ha para Regeneración natural.
- Se comprobó que el carbono almacenado es directamente proporcional a la cantidad de biomasa seca encontrada, es por eso que en el arreglo agroforestal a distancias de 4x3 se encontró los valores mas altos de cada uno, disminuyendo en las distancias de 4x4 y en regeneración natural respectivamente.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más investigaciones en donde se utilicen árboles multipropósito nativos para cuantificar la biomasa radical y el almacenamiento de carbono bajo la superficie.
- Realizar la estimación del carbono total presente en el suelo y en la biomasa aérea de la especie *Morella pubescens*, para generar información de la evaluación total y comparación del carbono almacenado en todos los componentes de estos sistemas agroforestales.
- Generar modelos alométricos para el análisis de carbono en Laurel de cera *Morella pubescens*, incluyendo el resto de componentes tanto de la parte aérea como subterránea.
- Generar un pago de servicios ambientales (PSA), donde se incluya el almacenamiento presentado en la biomasa radical.
- Establecer las relaciones de competencia por recursos del suelo (fundamentalmente, nutrientes y agua) entre las diferentes especies que coexisten dentro de los sistemas agroforestales y en regeneración natural, para apoyar en la toma de decisiones respecto a su manejo.
- Continuar las investigaciones de carbono almacenado para Laurel de cera *Morella pubescens*, a diferentes distancias y en otro tipo de sistemas agroforestales.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, H. y CUEVA, K. 2001. Estudios de Distribución, ecología, fenología, silvicultura y aprovechamiento del Laurel de cera *Myrica pubescens* Ecuador. Universidad Nacional de Loja, Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de Ingeniería Forestal. Loja, Ecuador.

ANDRADE, Hernán J. e IBRAHIM, Muhammad. Fijación de carbono en sistemas silvopastoriles: Una propuesta metodológica. Conferencia electrónica: Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales (LEAD-PFI-ECONF-L) Octubre – Noviembre de 2001. [citado, el 19 de mayo de 2006] Disponible en internet:  
<http://lead.virtualcentre.org/es/ele/conferencia3/articulo5.htm>.

ANDRADE, Hernán e IBRAHIM, Muhammad. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas Silvopastoriles? En: Agroforestería en las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Vol. 10 N° 39-40. 2003. 109 -116 p.

APRAEZ, Edmundo. El análisis químico de alimentos. Universidad de Nariño. 2000. 100p.

AVILA, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.99p.

BÖHM, W. Methods for studying root systems. Berlin: Springer-verlag, 1979. 94p.

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.

CARVALHO, J. 1984. Manejo de regeneracao natural de especies florestais. Belem, Brasil, EMBRAPA-CPATU. 22 p.

CRONQUIST, A. An integrated system of classification of flowering plants, citado por MUÑOZ, J. Ibid., p. 9

DEANS, J; MORAN, J; GRACE J. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduous tropical moist forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management*.88:215-225.

DELGADO, Diego. Bases ecológicas para el manejo de los recursos naturales: Cambio global antropogénico. 2001. 30 p.

PEARSUS. Citado por: DELGADO PORTILLA, Ana Marcela y MARTINEZ MELO, Yuri Viviana. Estimación y Evaluación de la biomasa y captura de carbono de 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, Tesis de grado I. AF., Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Ingeniería Agroforestal, Pasto, 2006. 91 p.

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

FINEGAN, B. 1996. Metodología para el monitoreo de la regeneración natural con fines de manejo forestal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 15p.

FINOL, H. 1969. Posibilidades de manejo de silvicultura para las reservas forestales de la región occidental. *Revista forestavenez (Venezuela)*.

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.

HERRERA, M.; DEL VALLE, J. y ORREGO, S. Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques intervenidos y secundarios. En: ORREGO, S.; DEL VALLE, J.; MORENO, F. y ARBELÁEZ, T.

Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático. 2003. p. 151.

JACKSON, R; MOONEY, H; SCHULZE, D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Ecology*. National Academy of Sciences. 94:7362-7366.

JARAMILLO, S;. Estimación de la captura de carbono en la biomasa radicular en aliso *Alnus jorullensis* H.B.K en dos sistemas agroforestales en la granja experimental botana, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño. Tesis Ingeniero Agroforestal. P 43.

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.

MacDiken, K. 1997. A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87p.

MORALES, A. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. In: Simposio Internacional. Posibilidades del Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. CATIE. 11 p.

MORALES, Eddy y BEER, John. Distribución de raíces finas de *Coffea arabica* y *Eucalyptus deglupta* en cafetales del valle central de Costa Rica. En: Agroforesteria de las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica, Vol. 5. Nº 17-18, 1998. 46 p.

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

MUÑOZ, Z. Determinación de la madurez fisiológica de las semillas de Laurel de cera (*Myrica pubescens* Humb & Bonpl. ex Willd) Pasto, 2000. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de Ingeniero Agroforestal. Pasto, Colombia.

OELBERMANN, Maren; VORONEY, Paul y SCHLONVOIGT, Andrea. Cuantificación del carbono radicular de Eritrina poeppigiana de cuatro y diez años establecidos en callejones en Costa Rica. En: Agroforestería en las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica, No 41-42, 2004. 92-96 p.

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

ORREGO, S.; DEL VALLE, J. Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: ORREGO, S.; DEL VALLE, J.; MORENO, F y ARBELÁEZ, T. Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Tropicales de Colombia: Contribuciones para la Mitigación de Cambio Climático. 2003. p. 215-241.

ORTIZ, Angela y RIASCOS, Lorena. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal Cacao Theobroma cacao L. y Laurel Cordia alliodora (Ruiz & Pavon) Oken en la reserva indígena de Salamanca, Costa Rica. Tesis de grado I. AF., Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Ingeniería Agroforestal, Pasto, 2006. 111p.

PARRA, Carlos. 1998. Taxonomía del género Myrica (Myricaceae) en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

RAICH, J. 1983. Effects of Forest Conversion of the Carbon Budget of a Tropical Soil. Biotropica 15(3):177-184.

REYES, R.; BASTIDAS, S.; PEÑA, E. Distribución del sistema radical de la palma de aceite Elaeis guineensis. En: Revista Palmas 18(3), 1997. P 49-57.

SABOGAL, C. 1980. Estudio de caracterización ecológico silvicultural del bosque "Copal", Jenaro Herrera (Loreto, Perú). Tesis Ing for. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 395 p.

SCHLÖNVOIGT, Andrea. CHESNEY, Patrick., SCHLLER, Michaela., KANTEN, Rudolf. 2000. Estudios ecológicos de raíces en Sistemas

Agroforestales: Experiencias metodológicas en el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Versión 2.0. 2000. p. 1.

SEGURA, M. y KANNINEN, M. 2002. Inventarios para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Eds. Orozco, L; Brumér, C. Turrialba, CR. CATIE. p 202-22.

SEGURA, M. y VENEGAS, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Serie Técnica No. 306. Turrialba, CR, CATIE. 46 p.

SIERRA, C; DEL VALLE, J; ORREGO, S. 2001. Ecuaciones de biomasa y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales maduros y tropicales de Colombia. En: Simposio internacional de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 12 p.

TORREY, J. Cross-Inoculation Groups within Frankia. 1990. En: MUÑOZ E, J. 2003. Evaluación de la infectividad y efectividad en la fijación de nitrógeno en la simbiosis de Frankia brunchorstrii con Laurel de cera Myrica pubescens H & B. Ex WILLDENOW. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de Ingeniero Agroforestal. Pasto, Colombia.

# **ANEXOS**



Anexo A: Formulario de registro de datos (DAP).

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

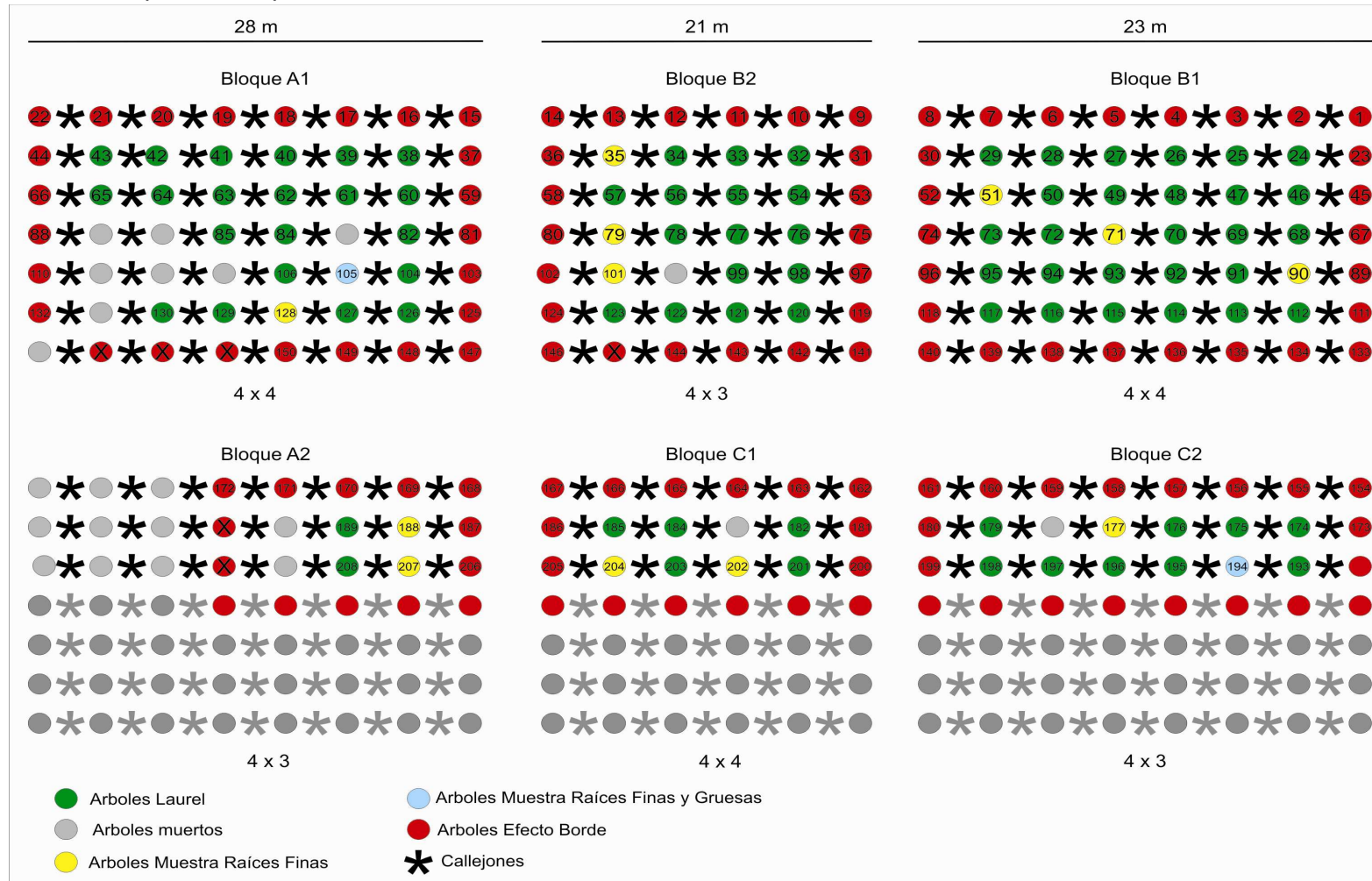
<b>FECHA:</b>	<b>SAN PABLO – NARIÑO – VEREDA BATEROS</b>	<b>SISTEMA:</b>
---------------	--	-----------------

<b>Numero Árbol</b>	<b>Peso muestra cilindro (Grs)</b>	<b>Peso muestra raíces (Grs)</b>
<b>Cilindro</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Profundidad</b>

<b>Aro Interno</b>		<b>0 – 10 cm</b>	<b>10 – 20 cm</b>	<b>20 – 30 cm</b>	<b>0 – 10 cm</b>	<b>10 – 20 cm</b>	<b>20 – 30 cm</b>
<b>Nº</b>	<b>1 Norte</b>				<b>PESO HÚMEDO (Grs)</b>		
	<b>2 Sur</b>						
	<b>3 Este</b>				<b>PESO SECO (Grs)</b>		
	<b>4 Oeste</b>						

<b>Aro Externo</b>		<b>0 – 10 cm</b>	<b>10 – 20 cm</b>	<b>20 – 30 cm</b>	<b>0 – 10 cm</b>	<b>10 – 20 cm</b>	<b>20 – 30 cm</b>
	<b>1 Norte</b>				<b>PESO HÚMEDO (Grs)</b>		
	<b>2 Sur</b>						
	<b>3 Este</b>				<b>PESO SECO (Grs)</b>		
	<b>4 Oeste</b>						

Anexo B: Mapa de campo.





Anexo D<sub>1</sub>: Tabla análisis de varianza.

<b>Análisis de la varianza</b>				
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PH I	63	3,5E-03	0,00	118,05

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	59,73	2	29,86	0,11	0,8990
DIST	59,73	2	29,86	0,11	0,8990
Error	16792,59	60	279,88		
Total	16852,31	62			

**Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=12,41335**  
 Error: 279,8765 gl: 60

DIST Medias n				
3,00	13,47	21	A	
2,00	13,55	22	A	
1,00	15,60	20	A	

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PH E	63	0,02	0,00	105,05

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	188,85	2	94,42	0,62	0,5409
DIST	188,85	2	94,42	0,62	0,5409
Error	9124,83	60	152,08		
Total	9313,68	62			

Anexo D<sub>2</sub>:

<b>Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=9,15045</b>					
Error: 152,0805 gl: 60					
DIST Medias n					
3,00	9,56	21	A		
2,00	11,91	22	A		
1,00	13,84	20	A		
Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
PS I	63	0,01	0,00	126,83	
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19,75	2	9,87	0,21	0,8135
DIST	19,75	2	9,87	0,21	0,8135
Error	2861,01	60	47,68		
Total	2880,76	62			
<b>Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=5,12378</b>					
Error: 47,6835 gl: 60					
DIST Medias n					
2,00	4,68	22	A		
3,00	5,80	21	A		
1,00	5,91	20	A		
Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)					

Anexo D<sub>3</sub>:

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PS E	63	0,01	0,00	120,66

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21,00	2	10,50	0,39	0,6815
DIST	21,00	2	10,50	0,39	0,6815
Error	1632,72	60	27,21		
Total	1653,72	62			

**Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=3,87067**

Error: 27,2120 gl: 60

DIST	Medias	n
3,00	3,92	21 A
2,00	3,94	22 A
1,00	5,17	20 A

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)*

Anexo E: Calculo de la biomasa fresca y seca para cada uno de los arboles muestreados en el arreglo pastura en callejones.

Nº Arbol	Horizonte	Peso Humedo total por Horizonte	Peso Humedo total por arbol	Peso seco total por horizonte	peso seco total por arbol	
1	A	83,16	103,89	34,4	42,84	4 x 4
	B	8,89		4,23		
	C	11,84		4,21		
2	A	61,36	70,4	24,34	26,13	
	B	3,66		0,57		
	C	5,38		1,22		
3	A	24,09	57,44	10,52	38	
	B	17,9		21,16		
	C	15,45		6,32		
4	A	15,14	25,71	18,53	23,51	
	B	4,32		3,97		
	C	6,25		1,01		
5	A	29,4	99,79	35,46	40,87	
	B	54,43		1,99		
	C	15,96		3,42		
6	A	35,57	50,91	9,96	18,62	
	B	6,93		5,28		
	C	8,41		3,38		
7	A	43,74	81,02	17,28	32,61	
	B	34,31		14,54		
	C	2,97		0,79		
8	A	45,63	64,4	10,09	22,31	
	B	13,74		6,43		
	C	5,03		5,79		
9	A	30,87	60,31	5,29	7,36	
	B	16,06		0,76		
	C	13,38		1,31		
10	A	110,1	141,85	15,06	20,12	
	B	17,44		2,39		
	C	14,31		2,67		
11	A	60,53	68,25	45,85	61,44	
	B	5,59		12,05		
	C	2,13		3,54		
12	A	89,78	114,06	22,71	23,97	
	B	12,5		1,15		
	C	11,78		0,11		
13	A	45,22	108,8	16,36	21,66	
	B	45,07		4,78		
	C	18,51		0,52		
14	A	64,14	101,93	22,02	31,79	
	B	14,14		3,18		
	C	23,65		6,59		

Anexo F: Calculo de la biomasa fresca y seca para cada uno de los arboles muestreados en regeneración natural.

Nº Arbol	Horizonte	Peso Humedo total por Horizonte	Peso Humedo total por arbol	Peso seco total por horizonte	peso seco total por arbol
1	A	68,69	74,51	29,27	40,49
	B	3,08		1,02	
	C	2,74		10,2	
2	A	12,27	20,86	4,56	8,11
	B	6,52		2,79	
	C	2,07		0,76	
3	A	93,13	111,71	39,18	46,33
	B	12,33		5,03	
	C	6,25		2,12	
4	A	62,04	101,63	26,85	44,66
	B	31,53		14,2	
	C	8,06		3,61	
5	A	45,12	63,5	17,98	25,07
	B	13,06		5,17	
	C	5,32		1,92	
6	A	26,49	43,85	11,83	20,26
	B	6,33		2,8	
	C	11,03		5,63	
7	A	40,91	67,53	15,15	28,43
	B	11,96		5,81	
	C	14,66		7,47	