

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Almacenamiento de carbono en dos Sistemas
Silvopastoriles instalados en Quevedo Provincia de Los
Ríos”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Presentada por:

Raquel Elizabeth Orrala Augustin-Bourne

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2007

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi familia y amigos por darme siempre su apoyo e impulsarme a seguir mis objetivos... A la Ing. Giniva Guiracocha, Dr. Jonhs Rodríguez y al Ing. Edwin Jiménez por su invaluable ayuda y a todas las personas de la UTEQ y Finca La María que colaboraron en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto... y en especial a mi abuelita quién siempre creyó en mi... a mis padres y hermanos...

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Giniva Guiracocha F.
DIRECTORA DE TESIS

Dr. John Rodríguez A.
VOCAL

Ing. Edwin Jiménez R.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Raquel Elizabeth Orrala Augustin-Bourne

RESUMEN

El presente trabajo se enmarca dentro del ámbito silvopastoril y del medio ambiente. Ante la creciente preocupación por los daños ambientales a los que se enfrenta el globo terrestre, el trabajo de investigación se plantea sobre la base de la necesidad de buscar alternativas de producción que proporcionen tanto servicios económicos y sociales como servicios ambientales.

La investigación se realizará sobre un experimento instalado en el año 2000 como parte del proyecto Evaluación de sistemas silvopastoriles para la alimentación mejorada de ganado doble propósito en la parte alta y baja del Río Guayas. El lote se encuentra instalado en la Finca La María de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la UTEQ.

Sobre este experimento: a) Se cuantificará el carbono fijado en la biomasa aérea de especies arbóreas y herbáceas que forman parte del sistema en estudio. b) Se estimará el carbono almacenado en el suelo y c) Se estimará el carbono total fijado en los sistemas en comparación con el testigo.

La metodología a utilizarse incluye una fusión de técnicas sugeridas para el efecto, por ejemplo: la aplicación de muestreos no destructivos y destructivos para los cálculos de biomasa arbórea y herbácea y la integración de métodos estadísticos paramétricos y no paramétricos para el análisis de datos.

Con estas evaluaciones se espera contribuir al conocimiento sobre el rol que desempeñan los sistemas silvopastoriles en la provisión de servicios ambientales.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. REVISIÓN DE LITERATURA	3
1.1. Cambio climático	3
1.1.1. El efecto invernadero.....	5
1.1.2. El dióxido de carbono.....	6
1.2. Consecuencias del cambio climático y medidas para enfrentarlo	8
1.2.1. El rol de los bosques y sistemas agroforestales como sumideros de carbono.....	14
1.3. Descripción de los componentes de los sistemas silvopastoriles en estudio	18
1.3.1. Pachaco	18
1.3.2. Teca	21

1.3.3. Pasto Saboya	23
---------------------------	----

CAPITULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.1. Localización	26
2.2. Antecedentes del establecimiento y manejo de los sistemas en estudio	27
2.2.1. Establecimiento del ensayo y características del área experimental	27
2.2.2. Manejo agronómico	29
2.2.3. Datos tomados	31
2.3. Materiales	32
2.4. Tratamientos y diseño experimental	33
2.4.1. Mediciones experimentales	33
2.4.2. Tratamientos	33
2.4.3. Unidades Experimentales	34
2.5. Procedimientos.....	36
2.5.1. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo	36
2.5.2. Cuantificación del carbono secuestrado en la biomasa ubicada sobre el suelo (biomasa aérea)	39
2.5.2.1. Carbono secuestrado en los árboles	39

2.5.2.2. Cuantificación del Carbono secuestrado en el forraje	55
2.5.3. Análisis estadístico	57

CAPITULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
---------------------------------	----

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
---	----

APÉNDICES.

BIBLIOGRAFIA

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1	Ciclo del carbono..... 8
Figura 2.1	Muestreo sistemático en zig-zag cruzado realizado dentro del área útil de la parcela..... 37
Figura 2.2	Método para determinar el volumen del fuste mediante la fórmula de Smalian..... 45
Figura 2.3	Forma que se asume en el cálculo del volumen de fuste como cilindro..... 46
Figura 3.1	Biomasa en el componente herbáceo de dos sistemas silvopastoriles y pasto solo, Finca Experimental La María, UTEQ-Quevedo. 2005..... 76
Figura 3.2	Carbono almacenado en la biomasa aérea de dos sistemas silvopastoriles y pasto solo. Finca Experimental La María, UTEQ- Quevedo. 2005 79
Figura 3.3	Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas silvopastoriles y pasto solo. Finca Experimental La María, UTEQ-Quevedo. 2005..... 82
Figura 3.4	Carbono total almacenado en dos sistemas silvopastoriles y pasto solo. Finca Experimental La María, UTEQ-Quevedo. 2005..... 84

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Opciones de mitigación de emisión de gases de efecto invernadero, según el Consejo Nacional de Ambiente del Perú (2004).....	13
Tabla 2 Condiciones meteorológicas en la finca “La María”, Facultad de Ciencias Pecuarias de la UTEQ, Quevedo.....	27
Tabla 3 Esquema del experimento para el carbono almacenado en el suelo.....	34
Tabla 4 Esquema del experimento para estimar biomasa aérea y carbono fijado en árboles.....	35
Tabla 5 Esquema del experimento para estimar biomasa y carbono fijado en el pasto.....	35
Tabla 6 Esquema del ADEVA (Análisis de Variancia).....	57
Tabla 7 Densidad aparente del suelo en tres sistemas de producción ganadera. Promedios de cinco parcelas. Finca Experimental La María UTEQ-Quevedo. 2005.....	61
Tabla 8 Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, con base a la textura del suelo.....	63
Tabla 9 Crecimiento del pachaco y la teca a los 5 años de edad y en combinación con Panicum maximum de 10 años. Finca La María, UTEQ-Quevedo. 2005.....	67
Tabla 10 Gravedad específica (g cm ⁻³) promedio evaluada en el fuste y ramas gruesas de pachaco y teca a los 5 años de edad. Finca La María, UTEQ-Quevedo. 2005.....	70
Tabla 11 Factor de expansión de biomasa para pachaco y teca. Promedio de 5 árboles por especie. Finca La María, UTEQ-Quevedo. 2005.....	72
Tabla 12 Biomasa en el componente arbóreo en sistemas de pastos naturales y pastos mejorados más árboles en Matiguás, Matagalpa.....	74
Tabla 13 Biomasa promedio (t ha ⁻¹) ubicada sobre el suelo en dos sistemas silvopastoriles y pasto solo, Finca La María, UTEQ-Quevedo. 2005.....	77
Tabla 14 Carbono almacenado por componente en los sistemas silvopastoriles según porcentajes (%) respecto del total.....	85

INTRODUCCIÓN

Las actividades agrícola-pecuarias, entre otros agentes de cambio, han contribuido a aumentar las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. Por ejemplo, en América Tropical la población bovina y la superficie dedicada a pastos ha crecido notoriamente en los últimos años, lo que supone la pérdida de importante biomasa vegetal que formó parte de bosques y que en su momento actuó como sumidero de carbono.

Los incrementos en la concentración atmosférica de dióxido de carbono y otros gases, han llamado la atención de la comunidad científica mundial en la búsqueda de alternativas para mitigar y/o adaptarse al cambio climático resultante. Algunas de las alternativas propuestas incluyen el recurrir a actividades forestales y agroforestales para capturar y almacenar el carbono, gas muy importante dentro de la dinámica del calentamiento global. En este contexto, un cambio en el uso de la tierra de las áreas de pasturas hacia sistemas silvopastoriles podría contribuir a generar múltiples beneficios sociales, económicos y sobre todo ecológicos.

En el año 2000, bajo un proyecto conjunto con el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) se instalaron en la Universidad

Técnica de Quevedo (UTEQ) dos sistemas silvopastoriles experimentales, con el fin evaluar el potencial de estos sistemas para generar ingresos al productor y ofertar servicios ecológicos. Con base a las interrogantes existentes sobre la magnitud de los servicios que podrían proporcionar, se estimó la cantidad de carbono almacenada en la biomasa aérea de las especies arbóreas y herbáceas que forman parte del sistema, el carbono almacenado en el suelo y el carbono total fijado en los dos sistemas en comparación con el testigo (pasto solo).

La metodología incluyó muestreos no destructivos y destructivos para la recolección de datos y la integración de métodos estadísticos paramétricos y no paramétricos para el análisis de estos.

CAPÍTULO 1

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Cambio climático

El Cambio Climático Global, es un fenómeno que ha sido atribuido a la acción directa e indirecta de las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica, en agregación a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo (Watson *et al.*1997). Las actividades antrópicas, principalmente el quemado de combustibles de origen fósil y los cambios en el uso del suelo, han contribuido a aumentar la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero que alteran los balances radiactivos y tienden a calentarla y, en algunas regiones, de aerosoles que tienden a enfriarla (Watson *et al.* 1997).

Los principales gases que contribuyen al efecto invernadero son: el dióxido de carbono (CO₂) que proviene de la quema de

combustibles (combustión del carbón, del petróleo y sus derivados así como de los procesos industriales) y de la deforestación; el metano (CH_4) que es liberado durante actividades agrícolas y pecuarias como el cultivo de arroz, la cría de animales (*i.e.* bovinos) además de la evacuación y tratamiento de desechos humanos; y, el óxido nítrico (N_2O) cuyas emisiones resultan de la utilización de abonos (PNUMA 2002). De los tres gases, el CO_2 es el más importante pues las dificultades de controlar sus emisiones plantean una grave amenaza.

Se estima que la acumulación en la atmósfera de gases con efecto invernadero producirá un aumento global de la temperatura en la superficie del planeta. Las proyecciones de los modelos climáticos predicen un aumento de la temperatura media anual en la superficie del planeta de 1-3.5 °C para el año 2100, un incremento medio mundial del nivel del mar de entre 15 y 95 cm, y un cambio en las pautas espacial y temporal de las precipitaciones (Watson *et al.* 1997). En promedio, la rapidez del calentamiento sería probablemente mayor que ninguna de las conocidas en los últimos 10.000 años, aunque, a escala anual o decenal, exhibiría una considerable variabilidad natural, y a nivel

regional los cambios podrían diferir notablemente del valor medio mundial (Watson *et al.* 1997).

1.1.1 El efecto invernadero

Es un proceso en el cual se retienen las radiaciones emitidas por la Tierra como a continuación se describe (PNUMA 2002):

- La luz solar atraviesa la atmósfera para calentar la superficie de la Tierra.
- La Tierra devuelve esta energía a la atmósfera en forma de radiaciones infrarrojas.
- Los gases invernadero (naturales) y el vapor de agua absorben gran parte de las radiaciones ascendentes que emite la tierra e impiden que estas pasen directamente al espacio (el proceso es lento de lo contrario la tierra sería un planeta frío y sin vida).
- Cuando la concentración de los gases invernadero aumenta en la atmósfera, se retiene más calor cerca de la superficie terrestre.
- La superficie de los océanos incrementa su temperatura, sale más vapor de agua a la atmósfera y, en consecuencia, aumenta la temperatura de la Tierra.

Se estima que el calentamiento terrestre se produciría con retraso respecto al incremento en la concentración de los gases con efecto invernadero: al principio los océanos más fríos tenderán a absorber una gran parte del calor adicional retrasando el calentamiento de la atmósfera. Sólo cuando los océanos lleguen a un nivel de equilibrio con los más altos niveles de CO₂ se producirá el calentamiento final (IPCC 1995).

Adicional al calentamiento del planeta, se suman otros fenómenos con grandes cambios en la atmósfera, como son la lluvia ácida y el deterioro de la capa de ozono (Nebell y Wright 2001).

1.1.2 El dióxido de carbono

El CO₂ es un compuesto natural de la atmósfera; junto con el nitrógeno y el oxígeno es requerido por las plantas para el proceso fotosintético y es importante para el equilibrio de energía en la atmósfera (Nebell y Wright 2001).

A partir de la segunda guerra mundial se ha detectado en la atmósfera incrementos de Dióxido de Carbono de 280 ppm (partes por millón) a 340 ppm (García 2001). Este gas representó más de cuatro quintos de las emisiones de gases de efecto invernadero de los países desarrollados en 1995 y la quema de combustibles aportó a casi el porcentaje total de esa cifra (PNUMA 2002). La agricultura y la deforestación (en especial la quema de bosques tropicales lluviosos) agregan carbono a la atmósfera; elemento que estaba almacenado en la biomasa vegetal y como materia orgánica del suelo (Salisbury y Ross 1992). Dichas transferencias se realizan por combustión y descomposición.

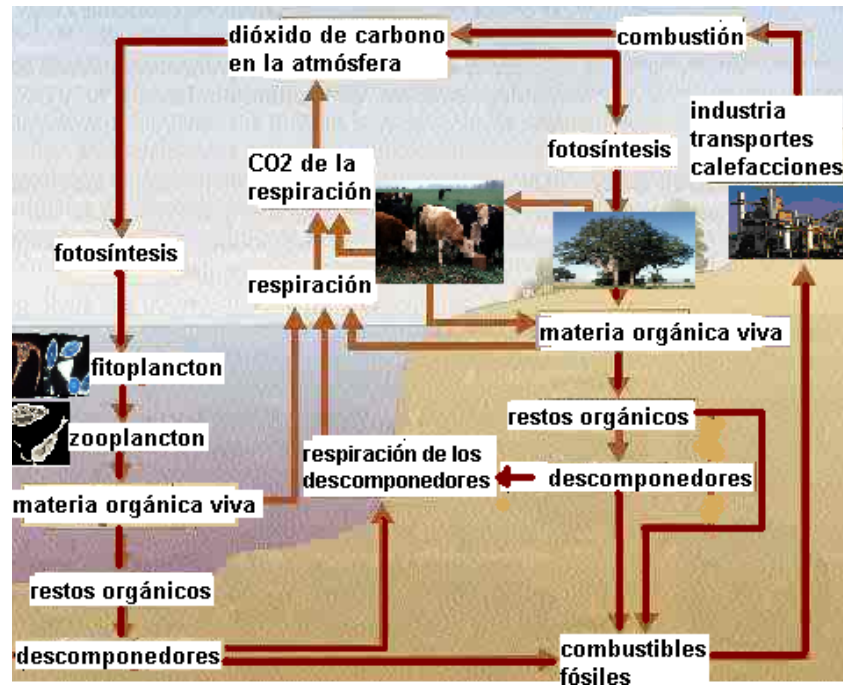


FIGURA 1.1. CICLO DEL CARBONO (ECHARRI 1998)

1.2 Consecuencias del cambio climático y medidas para enfrentarlo

El calentamiento global representa impactos insostenibles en el ambiente. No es posible predecir con seguridad lo que pasaría en los distintos lugares del planeta pero según Watson *et al.* (1997) es previsible que, entre otros efectos, en América Latina se agraven los efectos adversos de la deforestación en la Amazonía y se afecte más el ciclo del carbono mundial:

- Se altere la intensidad y distribución temporal y espacial de la precipitación, la escorrentía y otros. Los impactos podrían ser suficientes para provocar conflictos por agua entre usuarios, regiones y países.
- Disminuya la producción agrícola y se produzcan cambios en las formas de vida de los pueblos tradicionales
- Se produzcan aumentos del nivel de mar con consecuencias directas sobre infraestructuras, suelo y diversidad biológica.
- Los asentamientos humanos se vean amenazados en cuanto a abastecimiento de agua, salud, transporte, y distribución de energía. Por lo tanto se producirá una mayor migración de las poblaciones rurales y costeras.
- Se intensifiquen los estados crónicos de mal nutrición y enfermedades.

Aunque el debate sobre el cambio climático se centra en lo mencionado en el párrafo anterior, estudios procedentes de una parcela experimental en un bosque de Carolina del Norte demostró que los altos niveles de CO₂ influyen en el rápido crecimiento de una maleza (hiedra venenosa) a la vez que la vuelven más nociva respecto de su sustancia química causante

del salpullido (The New York Times 2006). Existe una creciente lista de plagas, no sólo de plantas sino también de animales que pudieran verse fomentadas al ser expuestas a niveles más altos de dióxido de carbono (The New York Times 2006).

Los países del mundo buscan maneras de hacer frente al problema del cambio climático global. En los últimos años, una serie de acuerdos entre países han puesto un fuerte énfasis en la reducción de la emisión de gases invernadero.

La Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (FCCC) que fue firmada en una Cumbre Mundial en 1992 por 162 gobiernos, se enfocaba específicamente en el problema del cambio climático y lo reconoció. El objetivo principal de las acciones propuestas en la convención fue lograr estabilizar los gases invernadero en la atmósfera, a un nivel que impida (sin especificar cuales deberían ser esos niveles) interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. La convención requería que todas las naciones que firmaran el tratado debieran lograr reducir sus emisiones de gases invernadero para el año 2000 hasta restablecerlas a niveles de 1990 (PNUMA 2002).

En 1997 los gobiernos de varios países se inclinaron a favor de la adopción del Protocolo de Kyoto. Este protocolo comparte la preocupación y principios establecidos por la Convención del Cambio Climático el cual deberá cumplir los siguientes objetivos:

- Ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero¹ a un nivel de 5,2 puntos porcentuales por debajo del de 1990 en el periodo de compromiso comprendido 2008 y el 2012 (Este protocolo entró en vigencia el 16 de febrero del 2005 después de años de controversias desde que se acordó en 1997).
- Los países que firmaron, ratificaron y aceptaron, deberán cumplir los compromisos contraídos en virtud del presente Protocolo.

Para alcanzar estos objetivos, el Protocolo propone una serie de medios:

- Reforzar o establecer políticas nacionales de reducción de las emisiones (incremento de la eficiencia energética, fomento de las formas de agricultura sostenible, desarrollo de fuentes de energías renovables, etc.).

¹ Gases de efecto invernadero: Dióxido de carbono (CO₂); Metano (CH₄); Óxido nitroso (N₂O); Hidrofluorocarbonos (HFC); Perfluorocarbonos (PFC); Hexafluoruro de azufre (SF₆).

- Cooperar con las demás Partes contratantes (intercambio de experiencias o datos, coordinación de las políticas nacionales en un afán de eficacia mediante mecanismos de cooperación, como el permiso de emisión, la aplicación conjunta y el mecanismo de desarrollo limpio).

Entre las estrategias plateadas en los acuerdos internacionales para la reducción de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, se destacan: a) la reducción de las emisiones por quemas de combustibles fósiles; b) la reducción en las quemas de material vegetal; y, c) el secuestro de carbono a través del manejo y plantío de los bosques (Soares y Oliveira 2002). La comunidad científica ha propuesto algunas alternativas aplicables a la generación de energía, transportación y explotación y uso forestal (Tabla 1).

TABLA 1
OPCIONES DE MITIGACIÓN DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO, SEGÚN EL CONSEJO NACIONAL DE AMBIENTE DEL PERÚ (2004)

Energía	Transporte	Forestal
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cogeneración ▪ Eficiencia energética industrial ▪ Gasificación de biomasa ▪ Generación de energía con paneles fotovoltaicos y con turbinas de viento ▪ Generación geotérmica ▪ Hidroelectricidad ▪ Turbinas a gas de alta eficiencia ▪ Mejora de la eficiencia energética en el sector residencial urbano ▪ Mejora en eficiencia y conversión a gas natural de calderas en la industria ▪ Mini hidroeléctricas ▪ Resanar red pública ▪ Reducción venteo en los pozos de extracción ▪ Sustitución de generación a carbón natural 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carriles exclusivos para ómnibus ▪ Combustibles de emisión cero ▪ Concesiones viales ▪ Conversión de taxis a gas licuado de petróleo ▪ Eficiencia energética en nuevos vehículos ▪ Estimulo tributario a combustibles eficientes ▪ Limitación de antigüedad de vehículos ▪ Restricciones a la circulación ▪ Revisiones técnicas ▪ Vehículos eléctricos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agroforestería ▪ Control de quemas ▪ Estufas y cocinas mejoradas ▪ Extracción de productos no maderables ▪ Forestación de protección y producción ▪ Forestaría urbana ▪ Manejo productivo de bosques tropicales ▪ Modelos y predicción de procesos de deforestación

El secuestro de carbono mediante plantaciones forestales o sistemas agroforestales ha sido concebido como un medio promisorio para reducir el dióxido de carbono atmosférico (Mc Diken 1997). El hombre, a través del manejo silvicultural de los bosques nativos existentes, y por la creación de nuevos bosques mediante forestaciones y reforestaciones en áreas donde no existen árboles, es capaz de alterar las reservas y flujos de carbono forestal, modificando su papel en el ciclo del carbono y utilizando con ello su potencial para mitigar los cambios del clima (Loguercio 1999).

1.2.1 El rol de los bosques y sistemas agroforestales como sumideros de carbono.

Las plantas, a través de la fotosíntesis, transforman energía solar en química al absorber CO_2 del aire para fijarlo en forma de biomasa, y liberan a la atmósfera oxígeno (O_2). Los bosques, en particular, juegan un papel preponderante en el ciclo global del carbono (C) (Loguercio 1999) ya que:

- Almacenan grandes cantidades de C en su biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico).

- Intercambian C con la atmósfera a través de la fotosíntesis y respiración.
- Son fuentes de emisión de C cuando son perturbados por causas naturales, por ejemplo incendios, avalanchas, etc., o antrópicas, como la quema para habilitar campos a actividades agropecuarias, explotaciones forestales sin conceptos silviculturales, etc.
- Pero también son sumideros (transferencia neta de CO₂ del aire a la vegetación y al suelo, donde son almacenados) cuando se abandonan las tierras perturbadas, que se recuperan mediante la regeneración natural.

La cantidad de carbono secuestrado por un bosque esta relacionada con la capacidad de éste de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, lo que a su vez depende, en parte, de las condiciones de suelo y clima (Arévalo *et al.* 2003). En los últimos años se ha demostrado la capacidad de los bosques naturales y plantados para fijar y almacenar carbono atmosférico. En Pucallpa (Región Amazónica del Perú) un bosque primario

tuvo contenidos de carbono de hasta 161.7 t ha^{-1} (Arévalo *et al.* 2003). En el noroccidente del Ecuador se ha encontrado que los bosques secundarios pueden almacenar 112 t ha^{-1} de C en un lapso de 30 años (Fernández 2000).

Por su parte, la agroforestería es una forma de uso del suelo en la cual especies leñosas perennes (árboles, arbustos, palmas y otras) se combinan con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal (Nair 1993). Estas combinaciones, si son bien diseñadas y manejadas otorgan múltiples servicios ambientales y económicos. Uno de estos servicios es que contribuyen a evitar el agotamiento de las reservas o almacenamientos naturales de carbono ya existentes, reduciendo la presión sobre los bosques.

Informes de Guatemala indican que un sistema agroforestal con base a café puede almacenar un promedio de 91,64 toneladas de carbono por hectárea;

valores superiores a los registrados en terrenos en descanso ($75,41 \text{ t ha}^{-1}$) y potreros ($72,24 \text{ t ha}^{-1}$).

Los sistemas silvopastoriles son una forma de agroforestería. Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de leñosas perennes (árboles o arbustos), interactuando con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) todos ellos bajo un manejo integral, tendiente a incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema en el largo plazo (Pezo e Ibrahim 1996).

Aunque la definición anterior no lo menciona, el sistema Silvopastoril lleva implícito el componente suelo; de tal forma que se pueden dar relaciones en todos los sentidos, entre todos los componentes y de diferentes magnitudes entre el suelo, la leñosa, la herbácea y el animal. Cada uno de los componentes del sistema silvopastoril puede en un sistema de producción determinado ser un sumidero o una fuente de carbono (Botero 2003).

Datos obtenidos en Costa Rica, reportan que un sistema silvopastoril *Brachiaria brizantha*- *Eucalyptus deglupta* de tres años puede almacenar $94.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, comparado a un monocultivo de *Brachiaria* que almacenó $68.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$ (Ávila *et al.* 2001). Los resultados de las últimas investigaciones explican en parte el creciente interés que existe por cuantificar el papel de estas formas de usos de la tierra en la reducción de la contaminación atmosférica al interior de diferentes países y áreas agroecológicas.

1.3 Descripción de los componentes de los sistemas silvopastoriles en estudio (Geilfus 1994; Estrada 1997; Saldías *et al.* 1994 citado en Justiniano *et al.* 2001; Moore, *sf* citado en Chaves *et al.* 1991; Raets, 1964; Cormadera 1997; INIAP. 1989).

1.3.1 Pachaco

Nombre botánico:

Schizolobium parahyba

Nombres comunes:

Pachaco, el gavilán, flamboyán brasileño.

Familia:

FABACEAE SENSU LATO

Origen y distribución:

Se encuentra desde México hasta el sur de Brasil también en Florida y Australia (ornamental). En la Amazonía del Ecuador se lo conoce con el nombre de masachi, encontrándose en forma aislada dentro del bosque primario; mientras que en bosque secundario crece rápidamente hasta cuando es remplazado en forma natural por otras especies. No es común encontrarlo sobre los 1000 msnm ni bajo sombra o en zonas de anegamiento permanente. La temperatura medias anuales para su hábitat oscilan de entre 22 y 27° C, con precipitaciones de 1200 a 1500 mm. Es intolerante a la sombra.

Descripción:

Árbol de hasta 40 m de altura y 1 m de diámetro a la altura del pecho. Tronco derecho y desprovisto de ramas, con un penacho de hojas grandes en el tope. Hojas compuestas bipinnadas, caducas. Racimo de flores amarillas de 30 cm de largo. La semilla es una legumbre grande (6 cm de largo aproximadamente), redonda y aplanada. El árbol

posee raíces tablares que penetran fuertemente en el suelo.

Característica:

El pachaco es apropiado para sistemas agroforestales debido a su rápido crecimiento y buena forma. Siendo una leguminosa (especie fijadora de nitrógeno), fertiliza de manera natural a los cultivos que lo acompañan (al aportar al suelo ramas y hojarascas); además queda siempre un sobrante en su propio beneficio y a favor de una progresiva fertilidad del suelo. La especie es melífera.

Usos: Madera.

- Utilizadas para varas, construcciones interiores, ranchos temporeros, cajas, muebles, etc.
- Tiene futuro como pulpa de papel
- En Ecuador se comercializa como trozas para debobinar en la industria de contrachapados.
- En madera aserrada es destinada al encofrado y a construcciones livianas.

1.3.2 Teca

Nombre botánico:

Tectona grandis

Nombres comunes:

Teca.

Familia:

VERBENACEAE

Origen y distribución:

Originaria de los bosques semi-húmedos de la India y Birmania. Existen plantaciones en África y en algunos países de América (Ecuador, Honduras, Trinidad y Venezuela). En Ecuador se establecieron plantaciones hace 45 años en zonas de Milagro, Balzar y Quevedo.

Descripción:

Árbol de hasta 40 metros y 0.80 m de diámetro a la altura del pecho. Fuste recto cilíndrico con dap de hasta 80 cm y puede llegar hasta 1.9 m. De copa más larga que ancha. Sistema radical bien desarrollado. Hojas grandes, simples, opuestas, ovoides o elípticas de color verde oscuro y rugoso en el haz. Flores pequeñas y

blancas, aparecen en panículas. Los frutos son pequeñas drupas irregulares y redondeadas, de 2 cm de diámetro (1-4 semillas).

Característica:

La especie es utilizada no solo en plantaciones puras, sino en sistemas agroforestales. En Tailandia y Trinidad se ha utilizado en el sistema Taungya, reduciendo los costos de plantación y a la vez que favorece el crecimiento de los arbolitos.

En Centro y Sur América la teca se ha asociado con cultivos de bananas, hasta cultivos alimenticios básicos durante períodos de dos o más años al inicio del establecimiento de la plantación. Los espaciamientos bajo este sistema han variado de lo 2x2 m hasta 5.3 x 5.3 m.

Usos:

- Madera. Usada en construcciones pesadas, barcos y puentes. En fabricación de chapas decorativas, tornados, puertas, ventanas, muebles, tablas y duelas machihembradas

para pisos y paredes, ebanistería, postes y varas. Da buena leña.

- Otros usos: de las hojas se extrae colorantes rojizos para teñir sedas y algodones. Las flores poseen propiedades medicinales (uso diurético).

1.3.3 Pasto saboya

Nombre botánico:

Panicum maximun

Nombres comunes:

Pangola, pasto guinea

Familia:

GRAMINEACEAE

Origen y distribución:

Esta especie es nativa de África tropical y subtropical pero ha sido usada ampliamente en las Indias Occidentales, Sudamérica, el Sudeste de Asia y las Filipinas.

Descripción:

El pasto es perenne y crece durante el verano formando matas densas. Se extiende por medio

de raíces cortas. Sus hojas son largas y anchas. Los tallos florecen y muestran la semilla en panículas abiertos y colgantes con altura de 5 a 8 pies (1.5-2.4 m). Su sistema radicular es profundo y fibroso y tiene alguna tolerancia a la sequía pero no la suficiente para resistir temporadas secas largas. Este pasto es muy tolerante a la sombra producida por los árboles, arbustos y otras especies de pastos.

Variedades:

El *Panicum máximum Jacq.* tiene alrededor de 47 variedades reunidas en cuatro grupos:

a) tipo alto y vigoroso con hojas grandes y tallos gruesos; b) plantas de vigor medio con numerosos tallos finos y hojas abundantes, ligeramente anchas y cortas, especialmente en la base; c) tipo de tamaño mediano con hojas delgadas, abundantes tallos y, d) tipo anual. Las variedades Coloniao, Hamil y Guinea común podrían estar dentro del grupo a), en cambio Trichoglume en el b), Makueni, Pichilíngue en el c).

Usos: Alimentación animal

Panicum maximum y su familia de variedades, entre ellas el gatton panic y el green panic, ocupan hoy el lugar dejado por el bosque en las nuevas tierras ganaderas. La productividad está en función del manejo (solo o asociado) y de la clase de animales que se tenga.

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

La investigación se realizó en la Finca Experimental "La Maria" donde se desarrolla el Proyecto "Evaluación de sistemas silvopastoriles para la alimentación mejorada de ganado doble propósito en la Parte Alta y Baja del río Guayas". Proyecto que fue financiado inicialmente por el Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA) y ejecutado entre la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) y el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). La finca se sitúa en el kilómetro siete de la vía Quevedo - El Empalme (Los Ríos) a 01° 6' de latitud sur y 79° 29' longitud oeste y a una altitud de 120 msnm. Las condiciones meteorológicas y las características de los suelos del sitio donde se realizó el estudio se describen en la Tabla 2 y Apéndice A.

TABLA 2
CONDICIONES METEOROLÓGICAS EN LA FINCA “LA MARIA”, FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS DE LA UTEQ, QUEVEDO

Parámetro	Finca Experimental
	La Maria
Temperatura °C	24.19
Heliofania horas/luz/mes	68.58
Precipitación mm	1536.71
Humedad relativa	77.4
Evaporación anual promedio (%)	78.3

Fuente: Estación Experimental Tropical Pichilingue (INIAP).

2.2 Antecedentes del establecimiento y manejo de los sistemas en estudio

2.2.1 Establecimiento del ensayo y características del área experimental

Los sistemas silvopastoriles (SSP) que se evalúan en el proyecto indicado estuvieron constituidos inicialmente por las combinaciones 1) Teca (*Tectona grandis*) + Matarratón (*Gliricidia sepium*) + Pasto Saboya (*Panicum máximum Jacq*); 2) Pachaco (*Schizolobium*

parahyba) + Matarratón + Pasto Saboya. El comportamiento de los Sistemas Silvopastoriles se compara con Pasto Saboya a pleno sol.

La instalación de las especies arbóreas y arbustivas se efectuó en junio del 2000 cuando el pasto tenía ya 10 años de haberse sembrado. Para la siembra del pasto y los árboles se utilizó semilla sexual; mientras que para la siembra de los arbustos se recurrió a semilla asexual. Los tres sistemas de producción se establecieron con la finalidad de compararlos y seleccionar aquel que permita incrementar la producción de carne y leche y el mejoramiento del agroecosistema en general (UTEQ e INIAP 2003).

Las parcelas o repeticiones (7 por tratamiento) tienen un área total de 4.068 m² cada una. Dentro de ellas los distanciamientos de plantación tanto en árboles como en arbustos fueron diferentes. El pachaco se plantó a 12 x12 metros y la teca a 18 x 18 m. En los SSP con pachaco, el área útil de cada parcela (2340 m²) estuvo constituida por 12 árboles de pachaco y 53 arbustos de matarratón; mientras

que el área útil del SSP con teca constaba de 5 árboles de teca y 18 arbustos de matarratón.

La distancia de siembra de los arbustos varió en función de la distancia entre las hileras de los árboles. En las parcelas con teca, la distancia de los arbustos fue de 9 m entre calles y 9 m entre plantas; en las parcelas con pachaco la distancia fue de 6 m entre calles y 6 m entre plantas. A la fecha de las evaluaciones para estimar el almacenamiento de carbono, los arbustos habían sido casi totalmente eliminados del sistema. El ciclo de vida del matarratón en este arreglo fue de entre 3 a 4 años; su desaparición se le atribuye al ramoneo del ganado, a la preferencia de este por el arbusto y a la marcada época seca soportada en el último año.

2.2.2 Manejo agronómico

Desde el establecimiento del ensayo silvopastoril, periódicamente se realizaron controles de malezas en las parcelas. También se proporcionaron riegos bimensuales a todo el experimento durante los periodos secos.

Cuando el Pachaco y la Teca alcanzaron un año de edad, se introdujo el ganado y se realizó un pastoreo rotacional con una carga animal de 1UBA¹ ha⁻¹. El tiempo de ocupación fue 7 días y 42 días de descanso. Se introdujeron vacas de doble propósito del cruce Taurus x Indicus, de 3 años de edad, con un peso promedio de 400 kg y en su primera lactancia de producción. El manejo sanitario del hato consistió en vacunaciones, desparasitación y otros. Hasta agosto 2004 el manejo se efectuó bajo la modalidad anteriormente indicada. Luego de esta fecha, se introdujo los animales a pastoreo rotativo cinco horas al día (1 - 2 días de pastoreo, 42 días de descanso). La carga animal fue de 0.8 UBA.

En el 2001 todo el experimento fue afectado por un incendio. Algunos árboles de Pachaco y el pasto resultaron los más afectados, mientras que la Teca toleró parcialmente el fuego. Para contribuir a la recuperación del experimento se efectuaron resiembras tanto de árboles de teca como de pachaco; también se aplicaron riegos y fertilizaciones frecuentes a los árboles de resiembra.

¹ UBA= Unidad animal bovina.

Aproximadamente un mes antes de la toma de datos, los árboles de teca fueron podados.

2.2.3 Datos tomados

Desde la instalación del experimento se han evaluado algunas variables sobre este (UTQ 2003). Anualmente se analizaron las características físico-químicas del suelo. Se recolectó al azar, en zigzag y en cada parcela, cinco muestras a dos profundidades: 0- 20 y 20-40 cm. A partir de ellas se obtuvieron dos muestras compuestas por cada parcela, las que fueron analizadas en el laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas de la Estación Experimental Boliche de INIAP.

En las especies arbóreas se han realizado mediciones de diámetro (cm), altura (cm), área basal (m^2) y volumen (m^3). Se evaluaron los doce árboles de pachaco y tres de teca correspondientes al área útil de la unidad experimental.

Durante el primer año de establecidos, se evaluó sobre los arbustos el número y altura de ramas; a partir del segundo

año se determinó la biomasa aérea y la relación hoja - tallo cada cuarenta y dos días que duró el descanso del potrero o parcela. En cada parcela se evaluaron cuatro arbustos seleccionados al azar.

En el componente pasto se determinó la producción de forraje antes y después del pastoreo. Se recolectaron cinco muestras de forraje en diferentes sitios (alto, medio y bajo) para lo que se utilizó un cuadrante de 1m². Los valores se promediaron y se calculó la producción por hectárea. Esto permitió determinar el forraje consumido por los animales en cada potrero y encontrar la carga animal instantánea y real que soportaba el potrero en cada tratamiento. También se realizaron análisis de los contenidos nutricionales del pasto y la leguminosa arbustiva (en dos épocas, seca y lluviosa).

2.3 Materiales

La lista de materiales utilizados se detalla en el Apéndice B.

2.4 Tratamientos y diseño experimental

2.4.1 Mediciones experimentales

Hasta ahora las evaluaciones del carbono presente en una forma de uso del suelo se han centrado en cuatro depósitos (Márquez *et al.* 2000):

- Biomasa sobre el suelo (vegetación herbácea y tallos leñosos con DAP > 5cm).
- Biomasa bajo el suelo (sistema radicular)
- Suelo
- Hojarasca y otra materia vegetal muerta

En la presente investigación se estimó el carbono almacenado en el suelo y en la biomasa ubicada sobre el suelo (en teca, pachaco y pasto).

2.4.2 Tratamientos

Sistema Silvopastoril (SSP-1) = Pachaco - pasto saboya

Sistema Silvopastoril (SSP-2) = Teca - pasto saboya

Pasto a pleno sol = Pasto saboya

Como se ha indicado en el numeral 2.2.1 la leguminosa arbustiva (*Gliricidia sepium*) había sido eliminada del sistema por lo que no se realizaron evaluaciones sobre ésta.

2.4.3 Unidades Experimentales

Las unidades experimentales fueron cinco repeticiones de cada uno de los tratamientos que representan los diferentes sistemas silvopastoriles y al pasto solo. Las repeticiones fueron seleccionadas, a partir de las siete existentes, con base a su ubicación y homogeneidad (topografía, crecimiento de los árboles).

TABLA 3

ESQUEMA DEL EXPERIMENTO PARA EL CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO

Tratamientos	Código	Rep.	T.U.E	Total
Pachaco-pasto	T1	5	1 (24 subm.)	5
Teca-pasto	T2	5	1 (24 subm.)	5
Pasto	T3	5	1 (24 subm.)	5

T.U.E = Tamaño de la Unidad Experimental (numero de muestras compuestas).

TABLA 4

**ESQUEMA DEL EXPERIMENTO PARA ESTIMAR
BIOMASA AÉREA Y CARBONO FIJADO EN
ÁRBOLES**

Tratamientos	Código	Rep.	T.U.E	Total
Pachaco-pasto	T1	5	12	60
Teca-pasto	T2	5	5	25

T.U.E = Tamaño de la Unidad Experimental (numero de árboles a evaluarse en el área útil)

TABLA 5

**ESQUEMA DEL EXPERIMENTO PARA ESTIMAR
BIOMASA Y CARBONO FIJADO EN EL PASTO**

Tratamientos	Código	Rep.	T.U.E	Total
Pachaco-pasto	T1	5	2 (10 subm.)	10
Teca-pasto	T2	5	2 (10 subm.)	10
Pasto	T3	5	2 (10 subm.)	10

T.U.E = Tamaño de la Unidad Experimental (número de muestras compuestas)

2.5 Procedimientos.

2.5.1 Cuantificación del carbono almacenado en el suelo

Para cuantificar el carbono almacenado en el suelo se aplicó un muestreo sistemático en zigzag cruzado, el que permitió tener una muestra representativa del área útil de las parcelas (Fig. 2). Por cada parcela se tomaron 24 submuestras de suelo a la profundidad de 0-20 cm. Para el efecto se identificaron y limpiaron los puntos de muestreo; las submuestras se extrajeron con un barreno y se homogeneizaron para formar una muestra compuesta de aproximadamente un kilogramo. Las muestras se colocaron en fundas plásticas y se identificaron para inmediatamente ser llevadas al laboratorio. Los análisis (que incluyeron estimaciones de la cantidad de nutrientes presente en el suelo -N-P-K-, el pH y la clase textural del suelo de cada tratamiento y repetición) se efectuaron en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Boliche del INIAP. La determinación del porcentaje de carbono en el suelo se realizó a través del método de oxidación en frío de Walkley y Black (1965).

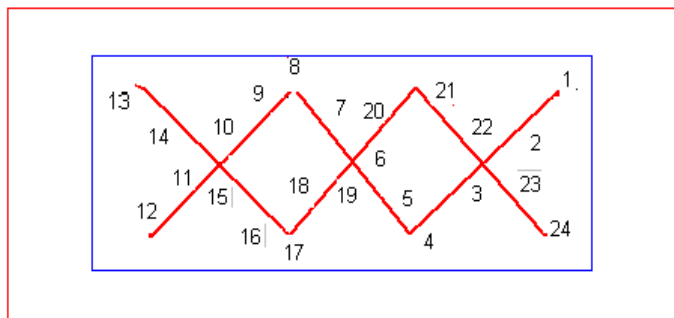


FIGURA 2.1. MUESTREO SISTEMÁTICO EN ZIG-ZAG CRUZADO REALIZADO DENTRO DEL ÁREA ÚTIL DE LA PARCELA.

Para convertir las concentraciones de carbón orgánico del suelo a cantidades totales, se requiere conocer la **densidad aparente del suelo** (Mc Dicken 1997). Esta fue estimada en cada parcela con base a tres muestras tomadas en la capa principal de suelo de los sitios 3, 8 y 11 del muestreo para determinación de carbono. La toma de muestras se realizó con cilindros de volumen conocido (6 cm de largo y 5 de diámetro), los que se identificaron y trasladaron hasta el laboratorio de suelos y aguas de la Estación Experimental Boliche del INIAP. Las muestras se secaron en una estufa a una temperatura de 110 °C por 24 horas. Con los datos de peso seco dividido para el volumen del cilindro se determinó el valor de densidad aparente (Forsythe 1975):

$$DA = \frac{MS}{V_{total}} \quad (1)$$

Donde:

DA = densidad aparente; es el peso del suelo para un volumen determinado (g cm^{-3})

MS = masa del suelo seco dentro del cilindro (g).

V = volumen del cilindro (cm^3)

La cantidad de carbono (t m^{-2}) presente en el suelo se calculó con base al promedio de la densidad aparente de las tres submuestras multiplicado por el porcentaje de carbono obtenido en la muestra y la profundidad de muestreo respectiva, mediante la siguiente ecuación:

$$CAS = \%CS \times DA \times P \quad (2)$$

Donde:

CAS = Carbono almacenado en el suelo

% CS = Concentración de C en el suelo (%)

DA = Densidad aparente (t m^{-3})

P = Profundidad de muestreo (m)

El carbono almacenado en el suelo se transformó a toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) al multiplicar por 100.

2.5.2 Cuantificación del carbono secuestrado en la biomasa ubicada sobre el suelo (biomasa aérea).

Dentro del experimento, como biomasa ubicada sobre el suelo se consideró a los árboles (teca y pachaco) y a la pastura.

2.5.2.1 Carbono secuestrado en los árboles

Para cuantificar el carbono almacenado en los árboles se efectuaron muestreos no destructivos y destructivos. Los muestreos no destructivos proporcionaron datos básicos para el cálculo de la biomasa del fuste de los árboles en pie y para la selección de los árboles a muestrearse destructivamente. Los muestreos destructivos proporcionaron información complementaria para el cálculo de la biomasa total y el carbono almacenado en todos los árboles del área útil de cada parcela: permitieron el cálculo de la gravedad específica de la madera (relación entre la masa en estado anhidro

-seca- y el volumen en –seco-); el factor de forma (relación entre el volumen real del fuste y el volumen del fuste considerado como un cilindro perfecto) y el factor de expansión de biomasa F_{eb} (factor que constituye la razón entre la biomasa total y la biomasa comercial).

1. Datos obtenidos desde el muestreo no destructivo.

Se realizaron mediciones dasométricas sobre todos los árboles de cada parcela o repetición seleccionada (dentro y fuera de su área útil). Dada la frecuencia de los árboles con un diámetro menor a cinco centímetros en el área útil del tratamiento pachaco – pasto (en tres repeticiones, aproximadamente el 50% del total) estos también fueron medidos. En todos los casos las medidas fueron:

Diámetro del fuste con corteza (cm): a la altura del pecho (dap a 1.30 metros del suelo), se usó la cinta diamétrica.

Altura total (m) medido desde la base del fuste hasta el ápice de la copa del árbol, y,

Altura comercial (m) altura desde el suelo hasta la primera bifurcación o inicio de la copa. Para medir las alturas totales y comerciales se utilizó un altímetro (Ben Meadows 1998).

A partir de los datos tomados de dap y altura en cada árbol, se calculó las áreas basales y el volumen del fuste para los diámetros mayores a 5 centímetros.

El **área basal** se calculó al multiplicar el dap al cuadrado por 0.7854 ($\pi/4$). Para el cálculo del **volumen** se utilizó la siguiente fórmula (Fehse *et al.* 1999):

$$V_f = \frac{\pi}{4} \times (\text{dap})^2 \times AC \times Ff \quad (3)$$

Donde,

V_f = Volumen del fuste (m^3)

dap = Diámetro a la altura del pecho (m)

AC = Altura comercial del árbol (m)

F_f = Factor de forma (relación entre el volumen real del fuste y el volumen del fuste considerado como un cilindro perfecto)

El factor de forma se lo determinó en el muestreo destructivo descrito a continuación.

2. Datos obtenidos desde el muestreo destructivo.

Para determinar cuales árboles se muestrearía destructivamente se recurrió a la “técnica del árbol promedio” (McDiken 1997). Para el efecto, se definió el área basal promedio de los árboles de cada parcela (=, > y < a 5 cm de dap por separado) y con base a esta se seleccionó el árbol que se ajustaba a dicho parámetro. La técnica se aplicó bajo la premisa de que el diámetro, el área basal y el área de albura tienen una similar relación funcional a la cantidad de follaje y ramas vivas presentes en la copa.

El árbol promedio seleccionado se colectó en cada repetición y tratamiento, fuera del área útil a fin de no alterar el arreglo establecido del experimento. Fue por esta razón que en el muestreo no destructivo se midieron todos los árboles de la parcela y no sólo los que se encontraban dentro del área útil. Cada árbol de la muestra destructiva (árboles talados), se dividió en cuatro componentes: fuste (desde la base del árbol hasta la primera bifurcación o aparición de ramas), ramas gruesas (aquellas con un diámetro mayor a 5 cm), ramas delgadas y hojas. Con los datos obtenidos a partir de estos componentes se calculó el volumen real del fuste, la gravedad específica, el factor de forma y el factor de expansión de cada árbol. Valores que posteriormente se aplicaron a los árboles muestreados en forma no destructiva.

a) Datos obtenidos a partir del fuste.

a.1 Volumen real de fuste (m^3). Se obtuvo a través del método de cubicación de Smalian (Fehse *et al.* 1999) que se basa en la longitud de las trozas en

que se divide el fuste y el diámetro de los extremos de cada troza (Fig. 2.2). Para el efecto el fuste de cada árbol se dividió arbitrariamente en trozas de 1.7 m.

$$V_r = \sum_{n \rightarrow 1}^{n \rightarrow m} \left(\frac{A_1 + A_2}{2} * L \right) \quad (4)$$

V_r = volumen real del fuste

n = primer volumen

m = número de volúmenes tomados

$$V = \frac{\{A_1 + A_2\}}{2} \times L \quad (5)$$

Donde:

V = volumen de la troza

A_1 = área basal en un extremo de la troza

A_2 = área basal en el otro extremo de la troza

L = largo de la troza

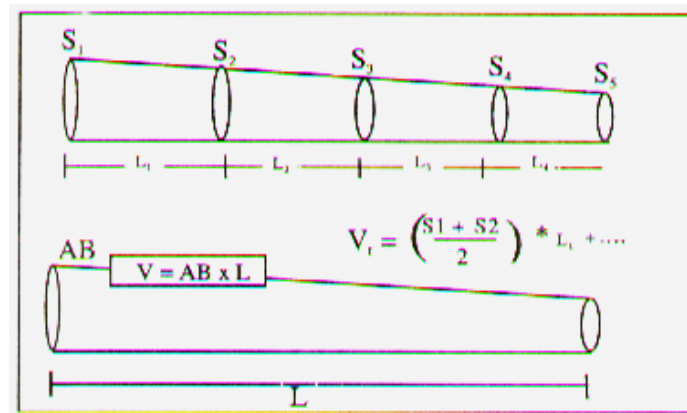


FIGURA 2.2. MÉTODO PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DEL FUSTE MEDIANTE LA FÓRMULA DE SMALIAN (TOMADO DE AGUIRRE *et al.* 2004)

a.2 Volumen del fuste como cilindro perfecto. Aquí se considera al fuste del árbol como un cilindro (recto y uniforme de un extremo a otro, Fig. 2.3)

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h \quad (6)$$

Donde:

V = volumen del cilindro

d = diámetro del cilindro

h = altura del cilindro

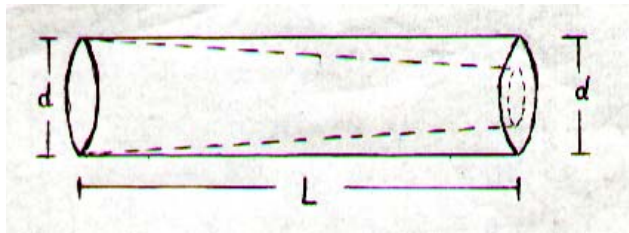


FIGURA 2.3. FORMA QUE SE ASUME EN EL CÁLCULO DEL VOLUMEN DE FUSTE COMO CILINDRO (GIECK 1981).

a.3 Factor de forma. Con los datos obtenidos del volumen real del fuste y el volumen del fuste considerado como un cilindro perfecto se determinó el factor de forma para cada especie con la fórmula (Ugalde 1981),

$$F_{\text{forma}} = \frac{\text{vol real del fuste}}{\text{vol de fuste como cilindro perfect}} \quad (7)$$

a.4 Gravedad específica (Ge) de la madera del fuste (kg/m^3). A partir de las trozas del fuste se tomó una de 1.7 metros por cada repetición (la más próxima a la base del árbol de teca o pachaco) y fueron llevadas inmediatamente al aserrío de la

UTEQ. La Ge se obtuvo según las normas ASTM (1993).

Con una sierra de precisión se cortaron 5 probetas (de 5x5x15 cm) por cada muestra de fuste (en total 25 probetas por cada especie). Las probetas se sometieron a secado en una estufa con una temperatura inicial de 50° C para evitar que la madera se seque muy rápidamente y se produzcan rejaduras (técnica empleada en la UTEQ, Law 2005, comunicación personal)¹. La temperatura se elevó gradualmente hasta que las probetas tuvieron un peso seco constante, el cual se logró a los 13 días y con una temperatura final de 105° C. El volumen de cada probeta se calculó por el método de inmersión en agua destilada. Las mediciones se efectuaron en el laboratorio de suelos de la Estación Experimental Boliche del INIAP. Los cálculos se efectuaron con la siguiente fórmula:

$$Ge = \frac{psh}{vm} \quad (8)$$

¹ Law Guillermo. 2005. Profesor Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Forestales. Quevedo, EC.

Donde:

G_e = gravedad específica (kg m^{-3})

p_{sh} = peso seco al horno (k)

v_m = volumen de la muestra (m^3)

a.5 Biomasa de fuste (kg). Se estimó con la información de volumen real del fuste y la gravedad específica de la madera. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$B_f = V_f \times G_{e_f} \quad (9)$$

Donde:

B_f = Biomasa de fuste (kg)

V_f = Volumen de fuste (m^3)

G_{e_f} = Gravedad Especifica del fuste (kg m^{-3})

b) Datos obtenidos a partir de ramas gruesas

b.1 Volumen de ramas gruesas (g). Se calculó por el método de Smalian (Fórmula 4). Las trozas muy largas o muy torcidas se dividieron en secciones de menor tamaño (0.12 – 1.35 m) para calcular el volumen por cada sección. La suma de todas las secciones proporcionó el volumen.

b.2 Gravedad específica de las ramas gruesas (kg/m^3). La gravedad específica de las ramas gruesas también se obtuvo según las normas ASTM.

Con una sierra de precisión se cortaron 3 probetas (de $2 \times 2 \times 10$ cm) por cada muestra de rama gruesa (en total 15 probetas). Para los cálculos respectivos, se utilizó la fórmula 8. Este procedimiento se aplicó sólo a las ramas provenientes de los árboles de teca.

Dado que la G_e de la madera es válida para el cálculo de la biomasa, en el caso de pachaco debido a su estructura (hueca en algunos casos), la biomasa de las ramas gruesas se calculó mediante la fórmula 11.

b.3 Biomasa de ramas gruesas (kg). Se estimó con la información de volumen y la gravedad específica de las ramas.

$$B_{rg} = V_{rg} \times G_{e_{rg}} \quad (10)$$

Donde:

B_{rg} = Biomasa de las ramas gruesas (kg).

V_{rg} = Volumen de ramas gruesas (m^3).

Ge_{rg} = Gravedad Especifica de ramas gruesas ($kg\ m^{-3}$).

c) Datos obtenidos a partir de ramas delgadas

c.1 Biomasa de ramas delgadas (kg). Se consideró el peso húmedo en campo de todos los trozos de ramas delgadas y aquellas ramas de mal formación que no ameritaban mediciones de longitud y diámetros. Del conjunto pesado se tomó una muestra de 250 g (por árbol talado) para llevar a peso seco. Las muestras se secaron en estufa (Laboratorio de Nematología de la Estación Experimental Boliche del INIAP) a temperatura inicial de 80° C. La temperatura se elevó gradualmente hasta que las muestras tuvieran un peso seco constante; este se logró (en algunos casos) a los 14 días y con una temperatura final de 100° C. Para el cálculo de la biomasa se aplicó la siguiente fórmula.

$$B_{rd} = \frac{P_{rd} \times P_{sm}}{P_{hm}} \text{ (kg)} \quad (11)$$

Donde:

B_{rd} = Biomasa de ramas delgadas (kg)

P_{rd} = Peso de ramas delgadas en campo (kg)

P_{sm} = peso seco de la muestra de ramas delgadas (kg)

P_{hm} = peso húmedo de la muestra de ramas delgadas (kg).

d) Datos obtenidos a partir de las hojas

d.1 Biomasa de hojas (kg). En campo, todas las hojas de cada árbol talado se pesaron inmediatamente de ser desprendidas de las ramas. Del conjunto pesado por árbol se tomó una muestra de 250 g. Las muestras se secaron en estufa (Laboratorio de Bromatología de la UTEQ y Fitopatología del INIAP, Boliche), a temperaturas iniciales de 40° C. La temperatura se elevó gradualmente hasta que las muestras tuvieran un peso seco constante (logrado a los 8 días en el caso de las hojas de teca). La biomasa se calculó con la siguiente fórmula:

$$B_h = \frac{P_h \times P_{sm}}{P_{hm}} \text{ (kg)} \quad (12)$$

Donde:

B_h = Biomasa de hojas (kg)

P_h = peso húmedo de las hojas en campo (kg)

P_{sm} = Peso seco de la muestra de hojas (kg)

Phm = Peso húmedo de la muestra de hojas (kg)

e) Cálculo de la biomasa total del árbol promedio (kg)

La biomasa total de cada árbol talado se obtuvo por la sumatoria de la biomasa de fuste, biomasa de ramas (gruesas y delgadas) y biomasa de hojas.

$$BT_{ap} = B_f + B_{rg} + B_{rd} + B_h \quad (13)$$

Donde:

BT_{ap} = biomasa total del árbol promedio (kg)

f) Cálculo del Factor de expansión de biomasa

El factor de expansión de biomasa aérea se obtuvo por la división de la biomasa total de cada árbol talado entre la biomasa del fuste.

$$Feb = BT_{ap} \div B_f \quad (14)$$

Donde:

Feb = Factor expansión de la biomasa

BT_{ap} = Biomasa total del árbol

B_f = Biomasa del fuste

3. Biomasa aérea total y carbono almacenado en los árboles

El cálculo de biomasa total se basó en la **biomasa del fuste de cada árbol** incluido dentro del área útil de cada parcela.

La biomasa (de cada árbol de teca y pachaco) se calculó con información proveniente de muestreos no destructivos y destructivos (Ge y Ff promedios de los 5 árboles evaluados).

Se recurrió a la siguiente fórmula (Fehse *et al.* 1999; Snowdon *et al.* 2001):

$$B_f = V_f \times G_e \quad (15)$$

Donde,

B_f = Biomasa del fuste del árbol (kg)

V_f = volumen del fuste

G_e = Gravedad específica (kg m⁻³).

La **biomasa total del fuste (Btf) por hectárea (ha)** de cada parcela o repetición y tratamiento se obtuvo mediante la sumatoria de los valores de Bf de todos los árboles de la parcela útil (kg), la multiplicación de esta sumatoria por 10.000 (m²) y su división para el área de la parcela (A en m²). El valor resultante se dividió para 1.000 a fin de obtener la expresión t ha⁻¹.

$$Btf = \sum_{i=1}^n Bf_i \times 10.000 \div A \div 1.000 \quad (16)$$

Donde:

Btf = biomasa total del fuste (t ha⁻¹)

La **biomasa aérea total de los árboles** se obtuvo al multiplicar la Btf por el factor de expansión de biomasa (Feb), obtenido a partir del muestreo destructivo. El Feb promedio de los 5 árboles evaluados por cada especie (teca y pachaco) se aplicó a la Btf de las parcelas correspondientes, según la siguiente fórmula:

$$BT = Btf \times Feb \quad (17)$$

BT= Biomasa aérea total ($t\ ha^{-1}$).

Btf = Biomasa total del Fuste ($t\ ha^{-1}$).

Feb = Factor de expansión de biomasa ($t\ ha^{-1}$).

La cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea total resultó de multiplicar la biomasa aérea total (BT) por el factor 0.5 sugerido por Brown y Lugo (1984).

$$CBT = BT \times 0.50 \quad (18)$$

Donde:

CBT = Carbono almacenado ($t\ ha^{-1}$).

BT = Biomasa total aérea de los árboles ($t\ ha^{-1}$).

2.5.2.2 Cuantificación del carbono secuestrado en el forraje

El carbono secuestrado en el forraje se calculó con base a la biomasa del forraje y su contenido de carbono (estimado en 0.45, World Bank 1998; Arévalo *et al.* 2003). La **biomasa del forraje** se evaluó antes del pastoreo, a inicios de la época seca. Con la ayuda de un cuadrante metálico de 1 m x 1 m se tomaron dentro del área del marco, 10 submuestras de material vegetal cortado al ras del suelo. Las submuestras se tomaron en zig-zag, dentro del área útil

de cada parcela (2340 m²). Cada submuestra se pesó inmediatamente; el material se homogeneizó y se obtuvieron dos muestras compuestas de 250 g cada una, las que fueron identificadas y trasladadas al laboratorio de Bromatología de la UTEQ. El cálculo de la biomasa del pasto se efectuó a partir del promedio de los valores obtenidos en cada submuestra. Se realizó de la siguiente manera:

$$B_p = \frac{P_p \times P_{sm}}{P_{hm}} \text{ (kg)} \quad (19)$$

Donde:

B_p = Biomasa de la pastura (kg)

P_p = peso húmedo de la pastura en campo (kg)

P_{sm} = Peso seco de la submuestra de pasto (kg)

P_{hm} = Peso húmedo de la muestra del pasto (kg)

La biomasa de la pastura por parcela (Kg MS) se transformó a toneladas por hectárea y el carbono total presente en la pastura se obtuvo al multiplicar la biomasa por la fracción de carbono.

2.5.3 Análisis estadístico

Los datos se analizaron en un Diseño Completamente al Azar (DCA) y la comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Duncan al 5% de probabilidad (Tabla 6). En los casos que ameritaban comparaciones de solo dos tratamientos, se recurrió a estadística no paramétrica (prueba de Kruskal Wallis. López 2004, fórmula 20). Los análisis estadísticos se efectuaron manualmente y se corroboraron con el paquete estadístico FAVANL versión 2.5 (Olivares Saénz 1994).

TABLA 6

**ESQUEMA DEL ADEVA
(ANÁLISIS DE VARIANCIA)**

Fuente de variación	Grados de Libertad	
Tratamientos	2	t-1
Error	12	t(r-1)
Total	14	tr-1

$$E(Y_{ijk}) = \mu + \sum_i + \sum_{ij} \quad (1)$$

Donde: Y_{ijk} = Valor de la variable dependiente

μ = Media general

Σ_i = Efecto debido al tratamiento

Σ_{ij} = El error asociado con el tratamiento en la fila y columna.

Estadístico de Kruskal-Wallis

$$H_c = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{R^2}{n_l} - 3(N+1) \quad (20)$$

Donde:

N = número de observaciones en cada grupo.

$$\sum \frac{R^2}{n_l} = \text{número total de observaciones}$$

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Características del suelo en que se desarrolló el experimento

3.1.1 Nutrientes y textura

El análisis del suelo (Apéndice C) de los dos sistemas silvopastoriles y el pasto solo, indican bajos contenidos de nitrógeno frente a los otros dos elementos (P y K) que resultaron en altos niveles. Resultados de los análisis anteriores al presente estudio mostraron similares tendencias para esta variable (Apéndice A).

Se observó también un potencial de Hidrógeno (pH) medianamente ácido (rango 5.5 a 5.8). Comúnmente, valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. La acidez por lo general está asociada con suelos lixiviados.

La textura del suelo fue variable aunque sobre una base textural franca. Según Cormadera (1997) el árbol de pachaco puede tener altas tasas de crecimiento en suelos francos, profundos, fértiles, aluviales, con ceniza volcánica reciente y no compactada. Por su parte el árbol de teca puede crecer en diversos suelos y la calidad de su crecimiento depende de la profundidad, la estructura, la porosidad, el drenaje y la capacidad de retención de la humedad del suelo. Su desarrollo es mejor en suelos profundos, bien drenados y fértiles, especialmente sobre substratos como suelos volcánicos o aluviales de diversos orígenes (Kaosa-ard, 1981 citado en Krishnapillay 2000).

Los suelos del área estudiada están identificados como alfisoles e inceptisoles de origen volcánico (depósitos coluvio aluviales de materiales volcánicos, Mapa de suelos del Ecuador 1986). En el área es común el establecimiento de las especies arbóreas en estudio tanto en linderos como en plantaciones.

3.1.2 Densidad aparente del suelo

Los valores promedios de densidad aparente (DA) del suelo de los sistemas estudiados (Tabla 7) se encuentran dentro de los rangos denominados “ideales” para el crecimiento radical de las plantas (Tabla 8, USDA 1999).

TABLA 7

**DENSIDAD APARENTE DEL SUELO EN
TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
GANADERA. PROMEDIOS DE CINCO
PARCELAS. FINCA EXPERIMENTAL LA
MARIA UTEQ-QUEVEDO. 2005**

Sistema	Densidad g/cm³
Pachaco-pasto	1.08 (r =1.05 – 1.10)
Teca-pasto	1.02 (r =0.95 – 1.05)
Pasto	1.07 (r =0.93 – 1.14)

r = rango

En general, las densidades aparentes del suelo fluctúan entre 1.0 y 1.7 g cm⁻³ y suelen aumentar con la profundidad en el perfil (Arshad *et al.*, 1996 en USDA 1999). La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo. Esta

condición puede ser alterada por el tipo de cultivo, pisoteo de animales, laboreo con maquinaria agrícola, y el clima (*i.e* impacto de las gotas de lluvia, Arsked *et al.* 1996 en USDA 1999). Sin embargo, y si bien en el presente estudio los suelos evaluados han sido sometidos a pastoreo constante, la densidad no parece haber sido afectada. Además, se debe considerar que los valores obtenidos corresponden a mediciones en la primera capa del suelo.

TABLA 8

RELACIÓN GENERAL ENTRE DENSIDAD APARENTE DEL SUELO Y CRECIMIENTO RADICULAR, CON BASE A LA TEXTURA DEL SUELO (LUTER Y SALAZAR 2000)

Textura del suelo	Densidades aparentes ideales (g cm^{-3})	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g cm^{-3})	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g cm^{-3})
▪ Arena, areno-franco	< 1.60	1.69	>1.80
▪ Franco-arenosa, franco	< 1.40	1.63	>1.80
▪ Franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	< 1.40	1.6	> 1.75
▪ Limosa, franco-limosa	< 1.30	1.6	> 1.75
▪ Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	< 1.40	1.55	> 1.65
▪ Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45% de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.58
▪ Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.47

3.2 Características del componente leñoso

3.2.1 Crecimiento.

El componente arbóreo del experimento tuvo densidades de 69.4 y 30.9 árboles ha^{-1} de pachaco y teca respectivamente. En tres parcelas de pachaco (en total 36 árboles dentro del área útil), un 50% de los árboles tuvo un $\text{dap} < 5$ cm.

En plantaciones tanto de pachaco como de teca, la densidad inicial que se suele utilizar va de entre 1100 a 1600 plantas por hectárea (CORMADERA 2001; Ospina *et al.*, 2003).

Los árboles de pachaco alcanzaron, en promedio 8.24 m de altura y 8.57 cm de dap a los 5 años (árboles con $\text{dap} > 5$ cm) y de 3.02 m de altura y 3.51 cm de dap (árboles con $\text{dap} < 5$ cm). En un estudio realizado en el departamento de Santa Cruz, Bolivia, una plantación de pachaco en asociación con plátano, alcanzó un promedio de 8.7 m de altura y 8.9 cm de dap a los tres años, y 15 m de altura y

23 cm de dap, a los 8 años (Sardinas 1999 en Justiniano *et al.*, 2001). A distancias de 5 x 5 m y a una edad de 5 años, plantaciones agroforestales establecidas en la Selva Central del Perú tuvieron una altura media de 8.01 m. y un dap promedio de 14.2 cm. (CRS 1993 en Justiniano *et al.*, 2001. Heuveldop *et al.* (1997), en un estudio realizado en Esmeraldas, Ecuador encontró que en promedio un árbol de pachaco de 7 años de edad alcanzaba 14.95 m. de altura y 16.7 cm de dap (en plantaciones de 433 árboles ha⁻¹).

El crecimiento promedio de teca fue de 9.71 m de altura y 10.75 cm de dap a los 5 años (árboles con dap > 5 cm). En Colombia, Vargas y Klop 1987 en Chaves y Fonseca 1991 reportaron un crecimiento de 16.0 m de altura y 14.5 cm. de dap para árboles de 5 años y de 17.3 m de altura y 15.4 cm. de dap para árboles de 6 años; no se hace referencia a densidades de plantación. En Ecuador, a edades de entre 5 y 6 años, los árboles de las parcelas permanentes de la Empresa Tropiteca, alcanzaron 12.5 m. de altura y un dap de 12.1 cm (CORMADERA 2001).

El análisis estadístico mostró que no hubo diferencias significativas entre los árboles de pachaco y teca para las variables dap (Kruskal Wallis: $P = 0.05$; $H = 0.01$) y altura (Kruskal Wallis: $P=0.05$; $H=1.8$). Sin embargo, las comparaciones realizadas denotan diferencias en el crecimiento de las especies en estudio en las distintas localidades antes mencionadas. La calidad de sitio, el origen de la semilla, la densidad de la plantación y el manejo, suelen ser factores determinantes para que estas diferencias se manifiesten (Chaves y Fonseca 1991).

En este contexto las distancias amplias y el pisoteo de los animales en las áreas circundantes a los árboles pudieran haber limitado el crecimiento de pachaco y teca. Respecto a las distancias de siembra en pachaco, las mayores densidades implican mejor desarrollo en altura (Ospina *et al.*, 2003). Para el caso de teca, se ha encontrado (en evaluaciones realizadas a los 7 años) que con distancias de 3 x 3 m esta especie presenta mejor crecimiento en altura y diámetro (CORMADERA, 2001). De otra parte, teca es una especie basófila y por tanto tiende a crecer

menos en suelos de características ácidas (Alvarado y Soto 1995).

La importante proporción de árboles de pachaco con dap < 5 cm. parece indicar que esta especie fue más afectada por el incendio que sufrieron los lotes, respecto de teca que es una especie tolerante al fuego.

TABLA 9

CRECIMIENTO DEL PACHACO Y LA TECA A LOS 5 AÑOS DE EDAD Y EN COMBINACIÓN CON *PANICUM MAXIMUM* DE 10 AÑOS. FINCA LA MARÍA, UTEQ-QUEVEDO. 2005

Sistema	Dap	Dap promedio (cm)	Altura total promedio (m)	IMA $m^{-3} ha^{-1} año^{-1}$
Pachaco	>	8.57	8.24	0.17
- Pasto	5cm	(r=5.4-20.2)	(r= 4.3-17.9)	
Teca –	>	10.75	9.71	0.11
Pasto	5cm	(r=5.9-16.0)	(r= 5.5-13.5)	

3.2.2 Factor de forma

El factor de forma (Ff) promedio de las dos especies evaluadas en los sistemas silvopastoriles fue de 0.56 y

0.50 para pachaco y teca respectivamente (calculados con base a cinco árboles por cada especie). Heuveldop *et al.* (1997) encontró en evaluaciones sobre 433 árboles de pachaco, un coeficiente de 0.61 a los 7 años de edad y de 0.65 a los 15 años (evaluaciones sobre 86 árboles).

El factor de forma que recomienda la literatura especializada es de 0.5 para especies coníferas en plantaciones, 0.4 para coníferas creciendo en espacios abiertos y 0.6 para latifoliadas (Forestry Comisión S/F; Jiménez 2006, comunicación personal¹); el pachaco y teca son especies latifoliadas y el factor de forma obtenido muestra valores aproximados que podrían asociarse a la densidad de plantación de las especies y al número de muestras tomadas para el ensayo.

3.2.3 Gravedad específica de la madera

Los datos de gravedad específica (G_e) promedio de la madera de las 2 especies estudiadas se obtuvieron a partir del fuste de los árboles (cinco por especie; 5 muestras por cada árbol evaluado). En teca se evaluó

¹ Jiménez Edwin. 2006. Profesor de la Escuela Superior Politécnica del Litoral y Director del Bosque Protector-ESPOL. Guayaquil, EC.

también la gravedad específica de las ramas gruesas. No se reporta la gravedad específica de las ramas gruesas del pachaco debido a que su biomasa se calculó por la relación peso ramas gruesas en campo*peso seco/peso húmedo.

A partir de las 25 probetas evaluadas por especie, se encontró que la Ge de una sección del fuste oscilaba entre 0.33 a 0.45 g cm⁻³ en pachaco y de 0.55 a 0.61 g cm⁻³ en teca. En las ramas gruesas de teca, la gravedad específica varió de 0.43 a 0.56 g cm⁻³. Para efecto de aplicación de los valores de Ge al presente estudio, se recurrió a los promedios de estos tanto para fustes como para ramas gruesas (Tabla 10).

Comúnmente la Ge de la madera puede variar de manera importante entre árboles de una misma especie y aún dentro de un mismo árbol (longitudinal y radialmente) Oliveira *et al.* 2005.

TABLA 10

Especies	Fuste	Ramas gruesas
Pachaco	0,38	-
Teca	0,57	0,50

Según el PADT-REFORT (1981) la gravedad específica de la madera de pachaco proveniente de Bolivia es de 0.41 g cm^{-3} . Un estudio realizado en Ecuador sobre esta especie, reporta una G_e de 0.33 g cm^{-3} (Heuveldop, *et al.* 1997). Por su parte, para teca, se reportan valores de 0.59 g cm^{-3} en Honduras, 0.65 g cm^{-3} en Costa Rica y de 0.67 g cm^{-3} en Panamá (González *et al.*, 1979).

Briscoe (1995), reporta variaciones en la G_e de la madera de teca de entre 0.58 a 0.82 g cm^{-3} . Según Altuve 1986 (en Chaves *et al.* 1991), la madera de teca, a los siete años de edad, presenta una densidad de 0.57 g cm^{-3} .

En algunas especies, la edad de la madera es un dato importante al momento de efectuar comparaciones pues la Ge tiende a aumentar con la edad y a estabilizarse después de la formación de madera adulta (Oliveira *et al.* 2005). Sin embargo, estudios sobre teca (Bhat 1998 en Krishnapillay 2000) revelaron que no existen diferencias de Ge entre árboles de diferentes edades y que la madera de árboles jóvenes (13 a 21 años) no es necesariamente inferior en densidad y resistencia a la de árboles más viejos (55 y 65 años).

3.2.4 Factor de expansión de biomasa (Feb)

En árboles con un diámetro mayor a 5 centímetros, el factor de expansión de biomasa para pachaco osciló entre 1.09 a 1.35 y de 1.25 a 1.50 para la Teca. En los árboles de pachaco con un diámetro menor a 5 centímetros el Feb varió de 1.01 a 1.08.

TABLA 11

**FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA PARA
PACHACO Y TECA. PROMEDIO DE 5 ÁRBOLES POR
ESPECIE. FINCA LA MARÍA, UTEQ-QUEVEDO. 2005**

Especie	Feb	
	dap > 5 cm	dap < 5 cm
Pachaco	1,17	1,05
Teca	1,39	

Según el análisis estadístico (Kruskal Wallis: $P = 0.05$; $H = 5.28$) existen diferencias significativas entre las medias obtenidas para cada especie (dap > a 5 cm).

El factor de expansión de biomasa varía según el grado de intervención al que haya sido sometida un área determinada. Se ha definido que existe un menor Feb para bosques cerrados y menos alterados y un mayor Feb para bosques abiertos y con mayor alteración (Brown y Lugo, 1984). El World Bank (1998) con base a sugerencias de la literatura aconseja el empleo de 1.75 para bosques menos alterados y 1.90 para aquellos con mayor alteración. Sin embargo un estudio realizado en Chile sobre bosques siempreverdes costeros y andinos

reportó que el Feb podía variar de 1.26 a 1.78 según los seis sitios evaluados (Schegel 2001).

3.2.5 Producción de biomasa

Para obtener el factor de expansión de biomasa se requirió conocer la biomasa seca de cada componente (fuste, ramas gruesas y delgadas y hojas) por árbol talado, tanto en árboles con dap > 5 y < 5 cm. En el Apéndice D se detalla el promedio de biomasa de los 5 árboles talados por cada especie.

De otra parte, la biomasa arbórea total encontrada en cada sistema (0.40 y 0.44 t ha⁻¹; sistema Pachaco-pasto y Teca-pasto, respectivamente) fue estadísticamente similar (Kruskal Wallis: P = 0.05; H = 0.5345). Ruiz (2002) y Ávila (2000) indican que la producción promedio de biomasa de los árboles es afectada por la densidad de éstos; a mayor densidad mayor cantidad de biomasa. Un ejemplo de ello se ilustra en la Tabla 12 (Ruiz 2002).

TABLA 12
BIOMASA EN EL COMPONENTE ARBÓREO EN
SISTEMAS DE PASTOS NATURALES Y PASTOS
MEJORADOS MÁS ÁRBOLES EN MATIGUÁS,
MATAGALPA

Sistema	Biomasa (t ha ⁻¹)	Densidad (árboles ha ⁻¹)
Pasto nativo con árboles	19.0	460
Pasto mejorado con árboles	29.1	574

En el presente estudio no se cumple dicha condición (> densidad = > biomasa) posiblemente porque el 50% de árboles incluidos en tres repeticiones del sistema pachaco – pasto eran pequeños (dap < 5 cm) y por el mayor crecimiento mostrado por la teca.

3.3 Características del componente herbáceo.

3.3.1 Biomasa

La producción de biomasa antes del pastoreo siguió el orden pasto solo > teca-pasto > pachaco-pasto (Fig. 3.1).

El análisis estadístico (DCA: $F_{2,12} = 4.55$, $P = 0.05$) reportó diferencias significativas entre sistemas para esta variable.

La presencia de árboles (según su densidad y crecimiento) pueden a veces incidir en el rendimiento de la biomasa de una pastura. Un estudio (López *et al.* 1998) realizado en el sistema silvopastoril *Cordia alliodora* - *Panicum maximum* determinó que la densidad de macollos del pasto fue 20 % mayor en pasto puro que en las parcelas con árboles pequeños (< 3 años; 3-7 años). Entre más grandes los árboles (> 7 años), la densidad de macollos se redujo hasta un 40% (López *et al.* 1998).

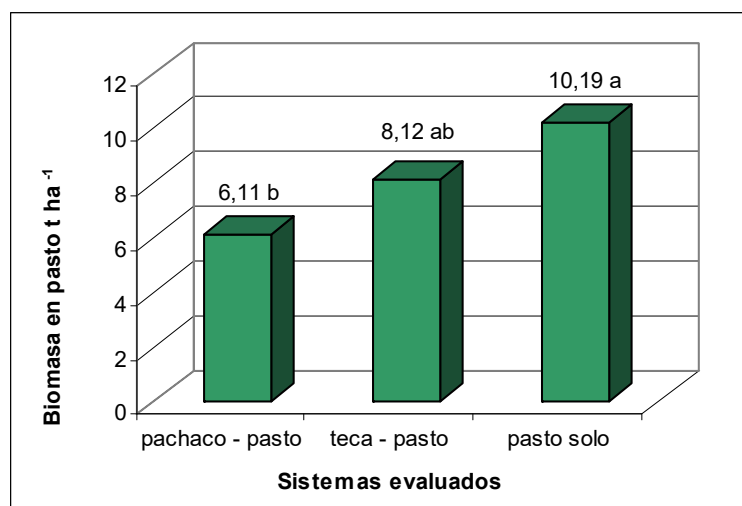


FIGURA 3.1. BIOMASA EN EL COMPONENTE HERBÁCEO DE DOS SISTEMAS SILVOPASTORILES Y PASTO SOLO, FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA, UTEQ-QUEVEDO. 2005

Otro estudio (Ruiz 2002), reporta que los pastos mejorados *P. maximum* y *Brachiaria brizantha* rindieron hasta un 19% más de biomasa cuando estaban asociados con árboles que cuando estaban a pleno sol. Es probable que las diferencias encontradas entre los 2 sistemas silvopastoriles del presente estudio se deba a que en el sistema teca-pasto hay un menor número de árboles lo que se traduce en una mayor producción de biomasa del pasto.

3.4 Biomasa total sobre el suelo

Aunque los valores de la biomasa total sobre el suelo (árboles y pasto) de los dos sistemas silvopastoriles y el pasto solo muestran diferencias numéricas (Tabla 13), el análisis estadístico (DCA: $F_{2,12} = 3.71$, $P = 0.05$) no reportó diferencias significativas. Los valores de biomasa mostraron el orden pasto solo > Teca-pasto > Pachaco-pasto.

TABLA 13

BIOMASA PROMEDIO ($t\ ha^{-1}$) UBICADA SOBRE EL SUELO EN DOS SISTEMAS SILVOPASTORILES Y PASTO SOLO, FINCA LA MARÍA, UTEQ-QUEVEDO. 2005

Sistema	Biomasa		
	árboles	pasto	total
pachaco - pasto	0,40	6,11	6,51
Teca - pasto	0,44	8,12	8,56
pasto	0,00	10,19	10,19

Del total de la biomasa presente en los sistemas silvopastoriles, el 94.36% corresponde al componente pasto y sólo el 5.64% al componente leñoso. Otros estudios (Andrade 1999, Ruiz 2002, Ramos 2003) reportan importantes aportes del componente leñoso a la biomasa total (*i.e.* 78, 95, 74%). Las diferencias observadas respecto del presente estudio probablemente se deban a diferencias en la población del componente leñoso y a la edad de este.

3.5 Carbono almacenado sobre y bajo el suelo

3.5.1 Cuantificación del carbono secuestrado en la biomasa ubicada sobre el suelo (biomasa aérea).

La cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas en estudio fue de 4.59 t ha⁻¹ para el pasto solo; 3.87 t ha⁻¹ para el tratamiento Teca-pasto y de 2.95 t ha⁻¹ para el tratamiento Pachaco-pasto.

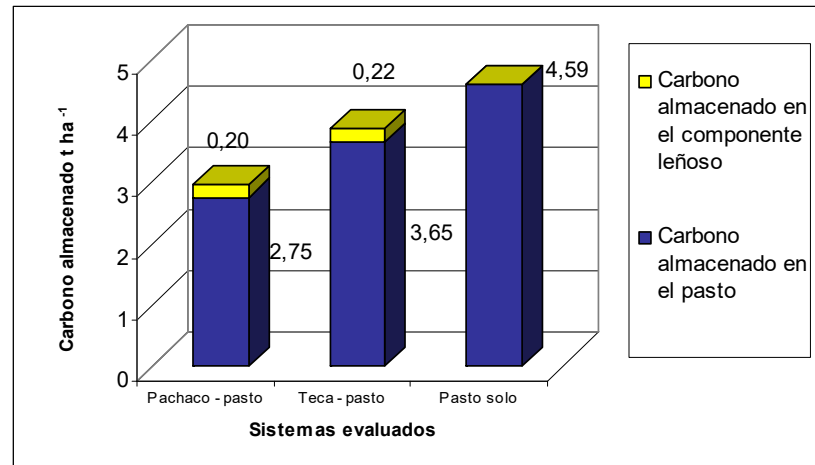


FIGURA 3.2. CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA DE DOS SISTEMAS SILVOPASTORILES Y PASTO SOLO. FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA, UTEQUEVEDO. 2005

La estimación del carbono almacenado en especies leñosas y herbáceas se realiza con base a la cantidad de biomasa encontrada en la especie y a la fracción de carbono que posea dicha especie. En este contexto, la biomasa del componente leñoso en una hectárea de pastura con árboles está definida por las características de la especie, su edad, crecimiento, la densidad en que se desarrolla y la composición diamétrica de los árboles. Mientras que en el forraje esta definida por la especie, su

manejo, su tolerancia a la sombra y a la asociación con especies arbóreas.

En este estudio el pasto resultó ser el mayor aportante al total del carbono almacenado en la biomasa ubicada sobre el suelo. Sin embargo, el aporte pudo ser mayor si se hubiese utilizado el factor de conversión de 0.50 al que han recurrido algunos investigadores en ausencia de valores propios de fracción de carbono para cada especie (*i.e* Andrade 1999; Ávila 2000).

Aquí, para calcular el carbono almacenado en el forraje se recurrió a la fracción de carbono sugerida por Arévalo (2003) y el World Bank (1998), que estiman en un 45% el carbono en la biomasa herbácea seca. Mora (2001), en un estudio de fijación de carbono en pasturas determinó que la fracción de carbono en los pastos Kikuyo (*Penisetum clandestinum*) y estrella (*Cynodon nlemfluensis*) se aproximaba a 0.38.

En cuanto al carbono total almacenado sobre el suelo (árboles y pasto) en los dos sistemas silvopastoriles y el

pasto solo, el análisis estadístico no encontró diferencias significativas entre tratamientos (DCA: $F_{2,12} = 3.62$, $P = 0.05$).

En armonía con lo indicado en los párrafos anteriores, el carbono total encontrado en la biomasa ubicada sobre el suelo de los sistemas en estudio difiere en algunos casos, y en otro se aproxima a lo hallado en ciertas investigaciones. Ruiz (2002) reportó para esta variable valores de 9.1 y 15.0 t C ha⁻¹ respectivamente, aplicados a las combinaciones pasto nativo (*Paspalum notatum* y *virgatum*, *Hiparrhenia rufa*) con árboles y pasto mejorado (*P. maximum*, *B. Brizantha* y *Cynodon dactilon*) con árboles. Ávila (2001) reportó valores de 7.50 t C ha⁻¹ para *Eucalyptus deglupta* (3 años) en asociación con *B. brizantha* (2 años) y de 8.90 t C ha⁻¹ para *A. mangium* (3 años) en asociación con *B. brizantha* (2 años). Andrade (1999) reportó 3.7 y 4.7 t C ha⁻¹ almacenado sobre el suelo para las asociaciones *B. brizantha* y *E. deglupta* y *P. maximum* con *E. deglupta* respectivamente.

3.5.2 Carbono almacenado en el suelo de los dos sistemas silvopastoriles y en el pasto solo.

En promedio, la capa superficial del suelo del sistema teca – pasto almacenó la mayor cantidad de carbono (Figura 3.3). El análisis estadístico (DCA: $F_{2,12} = 3.66$, $P = 0.05$) no detectó diferencias significativas entre tratamientos.

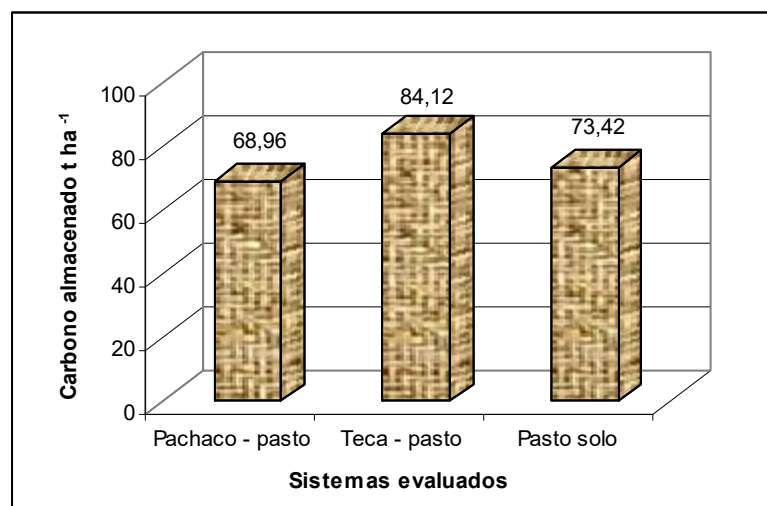


FIGURA 3.3. CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO DE DOS SISTEMAS SILVOPASTORILES Y PASTO SOLO. FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA, UTEQ-QUEVEDO. 2005

Las cantidades de carbono en el suelo pueden variar de acuerdo al tipo de cultivo – asociación existente sobre él y

al tiempo de establecimiento de éste; por ejemplo, Ávila (2001) encontró que la asociación *Coffea arabica* – *Eucalyptus deglupta* (4 años de edad), almacena un 0.59% más de carbono que la asociación *Brachiara brizantha* – *E. deglupta* de 3 años. Ruiz (2002), al estudiar el carbono almacenado en el suelo de algunos sistemas pastoriles (0.0 – 0.2 m de profundidad), encontró más carbono almacenado en el suelo de pastos nativos sin árboles (*Paspalum notatum* y *virgatum*, *Hiparrhenia rufa*) que en el suelo con las mismas especies más árboles (84.3 y 73.5 t C ha⁻¹ respectivamente). López *et al.* (1998), encontró más C en el suelo de una pastura sola (*P. maximum*) que en la pastura con árboles lo cual se atribuyó a diferencias en la fertilidad del suelo entre sitios: en la pastura pura el suelo tuvo mayor cantidad de N_{total} y se encontraba menos compacto.

Probablemente en el presente estudio el sistema teca – pasto tuvo mayor cantidad de C en el suelo debido a que también presentó una mayor proporción de materia orgánica (144.68 t ha⁻¹) respecto del sistema pachaco – pasto (118.61 t ha⁻¹) y del pasto solo (126.28 t ha⁻¹).

3.5.3 Carbono total almacenado en los dos sistemas silvopastoriles y el pasto solo

El análisis de varianza del carbono total almacenado en los sistemas bajo estudio (DCA: $F_{2,12} = 3.86$, $P = 0.05$) mostró diferencias significativas entre los tratamientos. El sistema teca – pasto resultó ser el arreglo que mayor cantidad de carbono almacenó; sin embargo, estadísticamente, este es similar al sistema pasto solo (Fig 3.4).

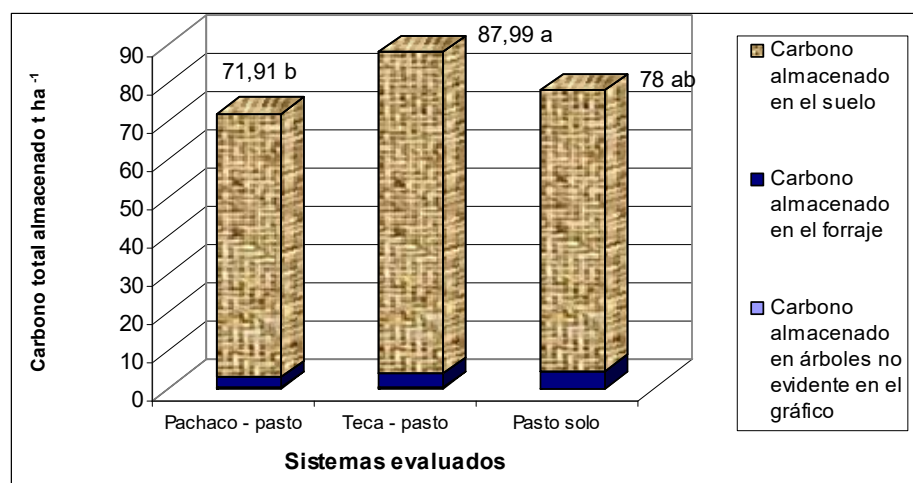


FIGURA 3.4. CARBONO TOTAL ALMACENADO EN DOS SISTEMAS SILVOPASTORILES Y PASTO SOLO. FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA, UTEQ-QUEVEDO. 2005

Según componentes, en promedio, del total de carbono almacenado en los dos sistemas silvopastoriles, el 95.75% del carbono se encontró en el suelo, el 3.99% proviene del pasto y sólo el 0.26% corresponde a los árboles (Tabla 14). Otros estudios han encontrado similares resultados. Por ejemplo Ruiz (2002) encontró que más del 95% de C se almacenó en el suelo de los sistemas silvopastoriles evaluados. López *et al.* (1998) también encontraron por lo menos seis veces más carbono en el suelo que en la madera del tallo de *C. alliodora* en un sistema silvopastoril con *P. maximum*.

TABLA 14

**CARBONO ALMACENADO POR COMPONENTE EN
LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES SEGÚN
PORCENTAJES (%) RESPECTO DEL TOTAL**

Sistemas	Árboles	Forraje	Suelo
Pachaco-pasto	0,27	3,82	95,90
Teca-pasto	0,25	4,15	95,60
Promedio total t ha ⁻¹	0,26	3.99	95,75

Pastos bien manejados influyen sobre el contenido de C en el suelo (Fisher *et al.* 1994 citado en Ruiz 2002;

Andrade 1999) así como la edad del sistema imponente en la explotación de los suelos (Palencia y Mirtini 1970 en Villanueva e Ibrahim 2002). Al momento de las evaluaciones concernientes al presente estudio el pastizal tenía ya 15 años de haberse establecido, lo que explica en parte las proporciones indicadas en el Tabla 14.

Es probable que los sistemas estudiados almacenen más carbono que el que se reporta. Esta investigación no consideró como bancos de carbono a las raíces de árboles y pasto ni la hojarasca de los árboles.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

- El estudio permitió el sondeo de algunos parámetros poco conocidos en Ecuador para las especies y arreglos evaluados y a las edades de evaluación: a los cinco años de edad pachaco y teca (dap > 5 cm.) tuvieron un factor de forma de 0.56 y 0.50; un crecimiento promedio de 8.24 m. y 9.71 m. en altura y de 8.57 y 10.75 cm. de dap; una gravedad específica de 0.38 y 0.57 g cm⁻³; un factor de expansión de biomasa de 1.17 y 1.39, respectivamente.
- No se presentaron diferencias estadísticas significativas en los contenidos de biomasa del componente arbóreo y de la pastura en los diferentes sistemas silvopastoriles y el pasto solo. En los sistemas silvopastoriles la pastura aportó la mayor cantidad de la biomasa sobre el suelo (94.36%), mientras que el componente

leñoso aportó sólo una pequeña parte del total (5.64%). Esto contrasta con la temporalidad del pasto respecto de los árboles en su permanencia en el sistema.

- El carbono almacenado en el componente leñoso no fue diferente entre las dos especies evaluadas. Los valores son bajos en comparación a otros sistemas silvopastoriles de similares edades, debido posiblemente a la densidad de siembra de los árboles en el sistema y al incendio que los afectó en años anteriores.
- Para el carbono almacenado en el pasto si hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. En promedio la pastura a pleno sol almacena más carbono que en arreglo silvopastoril.
- No se encontraron diferencias estadísticas significativas para el C total almacenado sobre el suelo. El aporte de los árboles al carbono total fue bajo: 0.20 t C ha⁻¹ (pachaco) y 0.22 t C ha⁻¹ (teca). El pasto aportó 2.75 y 3.65 t C ha⁻¹ (sistema pachaco-pasto y teca-pasto; respectivamente) utilizando 0.45 como fracción de carbono.

- El carbono almacenado en el suelo no fue diferente estadísticamente para ninguno de los tratamientos; sin embargo, el tratamiento que mayor cantidad de C almacenó fue el sistema Teca-pasto (84.12 t C ha⁻¹).
- El carbono total almacenado (sobre y bajo el suelo) en los sistemas silvopastoriles y el pasto solo, resultó diferente estadísticamente. Se encontró dos rangos de significación (al 5% de probabilidad). El sistema tecla-pasto almacenó la mayor cantidad de Carbono (87.99 t C ha⁻¹).
- En los sistemas silvopastoriles el suelo aportó la mayor cantidad de C, seguido por el pasto y finalmente el componente arbóreo; porcentualmente esas cifras representan el 95.21%, 4.62% y 0.26%, respectivamente.

Recomendaciones

Se recomienda:

- Realizar estudios sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo a diferentes profundidades, así como estudios de carbono almacenado en la biomasa de las raíces.

- Efectuar estudios de cronosecuencia que permitan evaluar la evolución de los datos aquí consignados.

- Continuar los estudios sobre almacenamiento del carbono en otros arreglos silvopastoriles y localidades con la finalidad de estimar el potencial de estos para mitigar el cambio climático en el Ecuador.

- Cuantificar el carbono en la biomasa del pasto antes y después del pastoreo y en muestreos dentro de diferentes épocas climáticas.

- Efectuar evaluaciones sobre la fracción de carbono presente en cada especie integrante de los sistemas evaluados a fin de complementar más acertadamente los datos de próximas evaluaciones.

APÉNDICE A

Resultados de análisis de fertilidad de suelo en tres sistemas de producción ganadera. Promedios de siete parcelas por cada sistema. Finca Experimental La Maria UTEQ-Quevedo. 2003

Sistemas	pH	Nitrógeno (ppm)	Fósforo (ppm)	Potasio (meq/100 ml)	Clase textural
Pachaco-matarraton-pasto	5.4 Ac	17 B	41 A	0.48 A	Franco-arcilloso
Teca-matarraton-pastura	5.5 Ac	16 B	22 A	0.40 A	Franco-arcilloso-limoso
Pastura	5.5 Ac	16 B	22 A	0.41 A	Franco-arcilloso-limoso

Fuente: Estación Experimental Boliche INIAP-Laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas.

B= Bajo A=Alto Ac= ácido

APENDICE B

MATERIALES UTILIZADOS EN LA RECOLECCION DE DATOS

- Agua destilada
- Balanza analítica
- Balanza de precisión (25 gr)
- Barreno
- Calculadora
- Cámara digital
- Cinta diamétrica
- Cinta métrica
- Cuadrante de 1m²
- Cilindros volumétricos
- Estufas
- Hipsómetro
- Motosierra
- Probetas de vidrio
- Regla graduada (Vernier)
- Sierras de precisión
- Tijeras de podar

APÉNDICE C

Resultados de análisis de suelo en tres sistemas de producción ganadera. Promedios de cinco parcelas por cada sistema. Finca Experimental La Maria UTEQ-Quevedo 2005

Sistema	N ppm	P ppm	K meq/100ml	pH	Clase textural
Pachaco-pasto	13.6B (r=6-17)	16.4A (r=2-30)	0.61A (r=0.57-0.69)	5.7Med ac	Franco ₂ -Fr.limoso ₃ Franco ₂ -Fr.lim ₃ -
Teca-pasto	16.2B (r=8-24)	20.4A (r=10-34)	0.65A (r=0.56-0.92)	5.7 (r=5.5-5.8) Med ac	Fr.aren ₁
Pasto	13.2B (r=10-20)	21.8A (r=13-32)	0.67A (r=0.58-0.81)	5.7 (r=5.6-5.8) Med ac	Franco ₂ -Fr.limoso ₃

Fuente: Estación Experimental Boliche INIAP-Laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas

B= Bajo A=Alto Me Ac = Medio Ácido

r = rango

Subíndice en la clase textural: # de parcelas evaluadas

APÉNDICE D

Biomasa promedio (Kg) de 5 árboles talados por especie; según componentes y dap. Finca La María, UTEQ-Quevedo. 2005

Especie	Fuste		Ramas gruesas	Ramas delgadas	Hojas		Total árbol	
	> 5 cm	< 5 cm	> 5 cm	> 5 cm	> 5 cm	< 5 cm	> 5 cm	< 5 cm
Dap de los árboles evaluados	> 5 cm	< 5 cm	> 5 cm	> 5 cm	> 5 cm	< 5 cm	> 5 cm	< 5 cm
Pachaco	11,45	2,63	0,15	0,84	0,93	0,10	13,38	2,73
Teca	24,58	-	2,13	4,56	3,19	-	34,47	-

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, N; Aguirre, Z. 2004. Guía para monitorear la biomasa y dinámica de Carbono en Ecosistemas Forestales en el Ecuador. Universidad Nacional de Loja. Loja. p. 21
2. Alvarado. A; Soto. G. 1995. Algunos aspectos del manejo de suelos forestales. pp. 1-9 In Fertilización forestal, Seminario técnico. CATIE-INRENARE. Santiago de Veraguas, Panamá 3 de julio, 1995.
3. Andrade, H.J. 1999. Production dynamics of Silvopastoral Systems with Acacia mangium y Eucalyptus deglupta in the humid tropic. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 70p.
4. Arévalo, L; Alegre, J; Palm, Ch. 2003. Determinación de las reservas totales del Carbono en los diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en Perú. Manual. PE. INIA; ICRAF; CODESU; INAENA. 29p.

5. ASTM.ed.1993 Standard test methods for specific gravity of Wood and Word – base materials. D2395-83. Philadelphia. USA. P 353-360.
6. Ávila, G; Jiménez, F; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Agroforesteria en las Américas 8:30 (32-35).
7. _____. 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, Costa Rica. 99 p.
8. Ben Meadows Company. 1998. International catalog. Atlanta USA 475 p.
9. Botero, J. 2003. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. Agroforestería para la Producción Animal en América Latina - II - Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica (Agosto de 2000-Marzo de 2001)-FAO (en línea). Consultado noviembre 2004. Disponible en http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/Y

4435S/y4435s07.htm

10. Briscoe, CB. 1995. Silvicultura y Manejo de teca, melina y pochote. Turrialba, C. R. CATIE. Programa Manejo Integrado de Recursos Naturales. Area Silvicultura de Bosques Tropicales (Serie Técnica. Informe técnico / CATIE; No. 270)
11. Brown, S; Lugo, A. 1984 Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. Science, 223:1290-1293.
12. Chaves, E; Fonseca, W. 1991. Teca (*Tectona granáís* L.f.) árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, C.R. 60 p.; 23 cm. - (Serie técnica. Informe técnico / CATIE; No.179).
13. CORMADERA. 1997. Manual para la producción de Pachaco. Edi- U,EC. 49 p.
14. _____. 2001. Guías técnicas para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales productivas en el litoral ecuatoriano. Quito- Ecuador. p 1-22.
15. Echarri L. 1998. Ciclo del Carbono. Libro electrónico: Ciencias de la

tierra y del Medio Ambiente (en línea). Consultado junio 2006.

Disponible en

<http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/131CicC.htm>

16. Estrada W. 1997. Manual de la producción de PACHACO (*Schizolobium parahybum*). Ecuador. EDI-U. 14p.

17. Fehse, J; Aguirre, N; Paladines, Ch; Hofstede, R; Sevink, J. 1999. La productividad de cuatro bosques secundarios en la Sierra del Ecuador. Proyecto ECOPAR. Quito-Ec., 41 pp.

18. Fernández Q, M. 2000. Factores de Emisión en el Sector. Cambio del Uso del Suelo y Silvicultura. Quito, EC. MA (Ministerio de Ambiente Proyecto ECU/99/G31 Cambio Climático Fase II). 30p.

19. Forestry Comisión S/F Management Los timber Production. Forestry Commission Bolletin N. 14. USA. p 64

20. Forsythe, W. 1975. Finca de suelos, Manual de Laboratorio. IICA, San José CR. Serie de Libros y Materiales educativos. No. 25. 212 p.

21. García, M. 2001. Atlas de Ecología. Barcelona, ES. Edibook, S.A. 82 p.
22. Geilfus, F. 1994. El Árbol al servicio del agricultor. Manual de Agroforestería para el desarrollo rural. 1: Guía de especies; 2: principios y técnica. CATIE, ENDA CARIBE. (Serie Técnica). Manual Técnico CATIE; No. 9. 778p.
23. Gieck, K. 1981. Manual de fórmulas técnicas. 18 ed. México. Representaciones y servicios de Ingeniería, S.A. p. C2
24. Gonzalez, T; Bonilla, L; Rivera D. 1979. Propiedades y usos de la madera de teca (*Teutona grandis* L.) creciendo en Quepos, Costa Rica. Laboratorio de productos forestales. Universidad de Costa Rica.
25. Heuvelop, J; Frühwaid A; Lóning, Ch; Jung, N. 1997. Schizolobium parahyba(Pachao)ais Plantagenbaum in Ecuador aus waldbaulicher, holztechnologischer und marktwirtschaftlicher Sicht. Universitat Hamburg, Ordinariat für Weltforstwirtschaft und Holztechnologie
26. INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, EC). 1989. Manual de Pastos Tropicales. Quito, EC.

27. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1995. Climate Change. The Science of Climate Change. Cambridge University Press, U.K.
28. Justiniano, M.J.; Fredericksen, T.S.; Nash, D. 2001. "Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas - Serebó o Sombrerillo *Schizolobium parahyba* (Vell) S.F. Blake, Caesalpiniaceae" Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.
29. Krishnapillay B. 2000. Silvicultura y ordenación de plantaciones de teca. *Unasyva* No. 201 Vol. 51 p 18.
30. Loguercio, G. 1999. Cambio Climático: El rol de los bosques como sumideros de carbono. *Patagonia Forestal* 6 (3 y 4):1-5. (En línea). Consultado noviembre 2004. Disponible en http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/feeling_the_heat/items/3304.php.
31. López, A. 2004. Pruebas no paramétricas. Notas del curso sobre estadística dictado en 2004 en la Maestría Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria del Ecuador. EC. Monografía. 61p.

32. López, A; Schlönvoigt, A; Ibrahim M; Kleinn, I; Kanninen M. 1998. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. Revista Agroforestería en las Américas. Avances de investigación. (en línea). Consultado mayo 2006. Disponible en <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6328S/x6328S01.htm#Bibliografía>
33. MacDicken, K.G. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development. 87p.
34. Márquez, L; Roy, A; Castellanos, E. 2000. Elementos técnicos para el inventario de carbonos en uso del suelo. GT. Fundación Solar. 34p.
35. Mora, V. 2001. Fijación, Emisión y Balance de Gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. M.Sc Tesis CATIE.

36. Nair, P.K. 1993. Agroforesteria. Universidad Autónoma Chapingo. Mx.
543p
37. Nebell, B.J.; Wright, R. T. 2001. Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Séptima edición. Prentice Hall, New Jersey, EEUU. p 10.
38. Olivares, E. 1994. Paquete de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía UANL. Marín, N. L.
39. Oliveira, J; Hellmeister, J; Tomazello, M; 2005. Variacao do Teor de umidade e da densidad de básica na Madeira de sete espécies de Eucalipto. ARVORE 29 (1): 115-127
40. Ospina. C; Posada. F; Gil. Z; Castro. B; 2003. EL Tambor, Especie forestal nativa; Cultivo y aspectos fitosanitarios en Colombia. CENICAFE. Colombia. p 40
41. PADT-REFORT, Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Ecuador. Lima, Junta del Acuerdo de Cartagena, 1981. 53p.
42. Pezo, D. y Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles, una opción para

el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. In Pastoreo intensivo en zonas tropicales. Veracruz, Mx (1er Foro internacional. FIRA/Banco de México). 35p.

43. Pino, JN del. 1999. El suelo y los incendios forestales. Los incendios forestales. Edafología (en línea). Consultado Agosto 2006. Disponible en <http://webpages.ull.es/users/inotario/CSCA/Index.htm>

44. PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente); CMNUCC. (Secretaría sobre el Cambio Climático). 2002. Para Comprender el Cambio Climático: Guía elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto. Francia.

45. Raets, G.H. 1964. Informe preliminar acerca del cultivo de Tectona granáís L.f. en la estación de Barinitas, Venezuela. In Chaves, E; Fonseca, W. 1991. Teca (Tectona granáís L.f.) árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, C.R. 60 p.; 23 cm. - (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ;no.179)

46. Ramos, A. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. M.Sc. Tesis. CATIE, Turrialba,

Costa Rica. 81 p.

47. Robert M. 2002. El papel fundamental de la materia orgánica en los suelos. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Francia-Fao (en línea). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm#TopOfPage>
48. Rosa, H; Herrador, D; González, M. 1999. Valoración y pago por servicios ambientales: Las experiencias de Costa Rica y El Salvador. Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente. PRISMA No. 35. p 20
49. Ruiz García, A. 2002. Fijación y Almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tirrualba, Costa Rica. M.Sc Tesis CATIE.
50. Schegel B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en Bosques del tipo forestal siempreverde. Presentado en el Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia. Chile
51. Snowdon, P.; Raison, J.; Keith, H; Montagu, K; B.; Ritson, P.;

Grierson, P.; Adams, M.; Burrows, W.; Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31. Draft-March 2001. Australian Greenhouse Office. 114p.

52. Soares, C.; Oliveira de, M. 2002. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. *Arbore* 26:5 (533-539).

53. The New York Times. 2006. Cambio Climático también afecta el patio trasero. Version Ecuador, Domingo 18 de junio del 2006. p 2

54. The World Bank. 1998. Greenhouse Gas Assessment Handbook. A practical guidance document for the Assessment of Project level Greenhouse Gas Emissions. Environment Department papers. No. 66 p 70-80.

55. Ugalde, L. 1981. Conceptos básicos de dasometría. CATIE, Turrialba, CR. 25p.

56. USDA (Departamento de Agricultura, US). 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo: Densidad aparente.

Traducido por Luter , A.; Salazar, J. 2000. INTA, Argentina. p 56. 1
disco compacto

57. UTEQ (Universidad Técnica Estatal de Quevedo, EC); INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias-Boliche, EC); PROMSA (Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios, EC). 2003. Informe Técnico Final del Proyecto “Evaluación de Sistemas Silvopastoriles para la alimentación mejorada del ganado de doble propósito en la parte alta y baja del Río Guayas”.

58. Villanueva, C; Ibrahim, M. 2002 Evaluación del impacto de lo sistemas silvopastoriles sobre la recuperación de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono en lecherías de altura en Costa Rica. Agroforestería de las Américas. Vol. 9 No. 35-36. p 69

59. Walkley A.; Black, C.A.. 1965. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy: 1372-1375.

60. Watson , R.; Zinyowera, M.; Moss, R.; Dokken, D. 1997. Impactos regionales al Cambio Climático. Evaluación de la vulnerabilidad. Informe Especial del Grupo de Trabajo II del IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 27p.