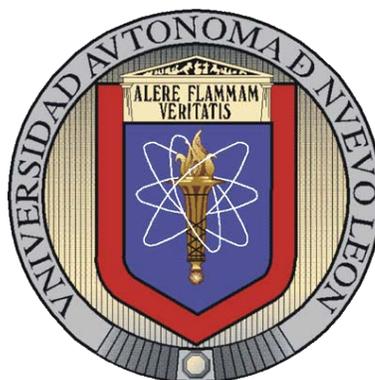


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO TOTAL DE ESPECIES  
ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS EN ÁREAS CON DIFERENTE USO  
HISTÓRICO, EN UNA FRACCIÓN DEL MATORRAL ESPINOSO  
TAMAULIPECO, LINARES, N. L.**

TÉSIS DE MAESTRÍA

Como requisito parcial para obtener el grado de  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

POR

ING. JOSÉ ISRAEL YERENA YAMALLEL

DICIEMBRE 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO TOTAL DE ESPECIES  
ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS EN ÁREAS CON DIFERENTE USO  
HISTÓRICO, EN UNA FRACCIÓN DEL MATORRAL ESPINOSO  
TAMAULIPECO, LINARES, N. L.

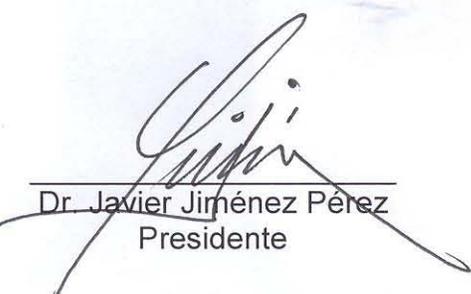
TÉSIS DE MAESTRÍA

Como requisito parcial para obtener el grado de  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

POR

ING. JOSÉ ISRAEL YERENA YAMALLEL

Comité de Tesis:



Dr. Javier Jiménez Pérez  
Presidente



Dr. Oscar A. Aguirre Calderón  
Secretario



Dr. Enrique Jurado Ybarra  
Vocal

## **Dedicatoria**

A mis padres por todo el apoyo incondicional durante toda mi formación y por confiar en mis objetivos de vida.

A mi esposa Evelyin por tener la confianza de empezar una nueva etapa de vida a mi lado, por su gran paciencia y comprensión, por darme una gran motivación de lucha y dedicación la cual es mi hija Natalia, a las dos por las cuales voy seguir esforzándome con el fin de seguir siendo felices.

A mis hermanos por ser mis hermanos por todos los momentos que hemos vivido desde niños.

A mis abuelitos que desgraciadamente ya no los tengo conmigo pero que nunca los voy a olvidar por que fueron y serán una parte importante de mi vida.

A Dios por darme esta vida y ayudarme a vivirla.

## **Agradecimiento**

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por haberme aceptado en su programa de Maestría en Ciencias Forestales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me facilitó para realizar la Maestría en Ciencias Forestales.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por haber confiado en mí y haberme aceptado para formar parte de su grupo de trabajo, por su gran asesoramiento para la elaboración de esta tesis y por su gran ayuda en mi formación.

Al Dr. Enrique Jurado Ybarra, por haber aceptado formar parte de esta investigación y por sus acertados comentarios para la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Oscar A. Aguirre Calderón, por sus valiosos consejos en la elaboración de esta tesis y aceptar en formar parte del comité de tesis.

Al M.C. José Aniseto Díaz Balderas por su maravillosa asesoría para el trabajo de laboratorio y para el análisis experimental de la información.

A todos los profesores de esta facultad por todas las cosas que me enseñaron.

A Claudio Castillo por todo su gran apoyo de logística para las salidas de campo y el trabajo en laboratorio y por su amistad.

A mi único compañero de campo Fernando (chaparro), por su grande ayuda.

A mis amigos de las diferentes generaciones Manuel, Jaime, Rubén, Corpus, Chaparro, Andres y Mata, que con todos durante estos dos años tuve muchos momentos agradables.

A mis amigos de antaño Oliver, Meny, Beto y el Oso por todos los momentos de alegría y tristeza que hemos tenido en nuestros años de amistad y por que esta siga durando.

A todo el personal docente de esta facultad por su ayuda y su amable convivencia durante mi segunda estancia en esta institución.

A todos mil gracias.

# INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE TABLAS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	xi
Capitulo	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	4
2.1 Cambio Climático.....	4
2.2 Efecto Invernadero.....	4
2.3 Causas y Consecuencias del Cambio Climático Global.....	6
2.4 El Ciclo del Carbono.....	7
2.5 Principales Fuentes y Sumideros de Bióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	8
2.6 Opciones de Mitigación de Carbono en el Sector Forestal.....	8
2.7 El Carbono Almacenado en Ecosistemas Forestales.....	9
2.8 Métodos para Estimar la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales.....	10
2.9 Carbono contenido en la vegetación (Cv).....	11
2.9.1 Métodos para estimar Cv.....	12
2.10 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (UNFCCC).....	13
2.10.1 Protocolo de Kyoto.....	13

Capítulo	Página
2.10.1.1 Proyectos de Implementación Conjunta y Mecanismo de Desarrollo Limpio.....	15
2.11 Ensayos de Carbono Almacenado en Ecosistemas Forestales.....	18
3. HIPÓTESIS.....	33
4. OBJETIVOS.....	34
4.1 Objetivo general.....	34
4.2 Objetivos específicos.....	34
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
5.1 Localización.....	35
5.2 Clima.....	37
5.3 Geología.....	37
5.4 Suelos.....	38
5.5 Vegetación.....	38
5.6 Metodología de campo.....	44
5.6.1 Selección de las especies.....	44
5.6.2 Diseño de muestreo y tamaño de la muestra.....	45
5.6.3 Colecta de las muestras.....	45
5.7 Metodología de laboratorio.....	48
5.8 Análisis estadístico.....	49
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52

Capítulo	Página
6.1 Carbono Total (%) entre especies y entre componentes.....	52
6.2 Carbono Total (%) entre las especies.....	52
6.3 Carbono Total (%) por Componente de todas las especies.....	56
6.4 Carbono Total (%) por Componente de la biomasa aérea por sitios.....	58
6.5 Carbono Total (%) por componente por especie.....	60
6.6 Carbono Total (%) por componente de <i>Acacia rigidula</i> en los tres sitios.....	64
6.7 Carbono Total (%) por componente de <i>Havardia pallens</i> en dos sitios.....	67
6.8 Carbono Total (%) por componente de <i>Eysenhardtia texana</i> en dos sitios.....	69
6.9 Carbono Total (%) por componente de <i>Diospyros texana</i> en dos sitios.....	71
6.10 Carbono Total (%) por componente de <i>Zanthoxylum fagara</i> .....	73
6.11 Carbono Total (%) por componente de <i>Acacia schaffneri</i> .....	74
6.12 Carbono Total (%) por componente de <i>Forestiera angustifolia</i> .....	76
6.13 Carbono Total (%) por componente de <i>Acacia farnesiana</i> .....	77
6.14 Carbono Total (%) por componente de <i>Cordia boissieri</i> .....	79
6.15 Carbono Total (%) por componente de <i>Cercidium macrum</i> .....	80
 7. CONCLUSIONES.....	 82
 8. BIBLIOGRAFÍA.....	 84
 9. ANEXO.....	 96

## INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Especies seleccionadas por sitio.....	44
2. Porcentajes promedios de CT (%) por especie (SD = Desviación estándar de la muestra).....	53
3. Variabilidades de porcentajes promedios de Contenido de Carbono reportados para diferentes especies de latifoliadas.....	55
4. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de todas las especies (SD = Desviación estándar de la muestra).....	56
5. Porcentajes promedios de Contenido de Carbono reportados para los componentes de diferentes especies de latifoliadas.....	57
6. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente por sitio (SD = Desviación estándar de la muestra).....	59
7. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente por especie.....	61
8. Variabilidad de los porcentajes promedios de Contenido de Carbono reportados para los componentes de diferentes especies de latifoliadas.....	63
9. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componentes de <i>Acacia rigidula</i> en los tres sitios: sitio 1 Agricultura tradicional (Gavia1), sitio 2 Ganadería extensiva (Gavia2) y sitio 3 Matarasa (Gavia3). (SD = Desviación estándar de la muestra).....	65

10. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de <i>Havardia pallens</i> en dos sitios: sitio 2 Ganadería extensiva (Tenaza1) y sitio 3 Matarasa (Tenaza2) (SD = Desviación estándar de la muestra).....	67
11. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de <i>Eysenhardtia texana</i> en dos sitios: sitio 1 Agricultura tradicional (Varadulce1) y sitio 2 Ganadería extensiva (Varadulce2) (SD = Desviación estándar de la muestra).....	69
12. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de <i>Diospyros texana</i> en dos sitios: sitio 2 Ganadería extensiva (Chapote1) y sitio 3 Matarasa (Chapote2) (SD = Desviación estándar de la muestra).....	71
13. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de <i>Zanthoxylum fagara</i> (Colima) en el sitio 3 Matarasa. (SD = Desviación estándar de la muestra).....	73
14. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de <i>Acacia schaffneri</i> (Hui chino) en el sitio 3 Matarasa (SD = Desviación estándar de la muestra).....	75
15. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de <i>Forestiera angustifolia</i> (Panalero) en el sitio 2 Ganadería extensiva (SD = Desviación estándar de la muestra).....	76

16.	Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de <i>Acacia farnesiana</i> (Huizache) en el sitio 1 Agricultura tradicional (SD = Desviación estándar de la muestra).....	78
17.	Porcentajes promedios de los componentes de las especies del genero Acacia.....	79
18.	Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de <i>Cordia boissieri</i> (Anacahuita) en el sitio 1 Agricultura tradicional. (SD = Desviación estándar de la muestra).....	79
19.	Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de <i>Cercidium macrum</i> (Palo verde) en el sitio 1 Agricultura tradicional (SD = Desviación estándar de la muestra).....	80

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Localización de las áreas de estudio.....	36
2. Componentes de árboles y arbustos de la biomasa aérea (fuste, ramas, ramillas y hojas).....	47
3. Gráfica de la recta de calibración con el estándar de sacarosa al 30 %, con un $R^2$ de 0.9989.....	49
4. Porcentaje promedio de Carbono Total por especie. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	54
5. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de todas las especies. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	57
6. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente por sitio. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	59
7. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente por especie. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	61
8. Porcentaje promedio de Carbono Total por componentes de <i>Acacia rigidula</i> en los tres sitios: sitio 1 Agricultura tradicional (Gavia1), sitio 2 Ganadería extensiva (Gavia2) y sitio 3 Matarasa (Gavia3). La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	66
9. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de <i>Havardia pallens</i> en dos sitios: sitio 2 Ganadería extensiva (Tenaza1) y sitio 3 Matarasa (Tenaza2). La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	68

Figura	Página
10. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de <i>Eysenhardtia texana</i> en dos sitios: sitio 1 Agricultura tradicional (Varadulce1) y sitio 2 Ganadería extensiva (Varadulce2). La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	70
11. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de <i>Diospyros texana</i> en dos sitios: sitio 2 Ganadería extensiva (Chapote1) y sitio 3 Matarasa (Chapote2). La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	72
12. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de <i>Zanthoxylum fagara</i> (Colima) en el sitio 3 Matarasa. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	74
13. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de <i>Acacia schaffneri</i> (Hui chino) en el sitio 3 Matarasa. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	75
14. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de <i>Forestiera angustifolia</i> (Panalero) en el sitio 2 Ganadería extensiva. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	77
15. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de <i>Acacia farnesiana</i> (Huizache) en el sitio 1 Agricultura tradicional. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	78
16. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de <i>Cordia boissieri</i> (Anacahuita) en el sitio 1 Agricultura tradicional. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	80
17. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de <i>Cercidium macrum</i> (Palo verde) en el sitio 1 Agricultura tradicional. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.....	81

## RESUMEN

Se generaron coeficientes de contenido de carbono total por unidad de biomasa base peso seco de 10 especies y para cada uno de sus componentes (tallo, ramas, ramillas, hojas y corteza) de tres áreas con diferente uso histórico (Agricultura tradicional, Ganadería extensiva y Matarasa) en el Matorral Espinoso Tamaulipeco, los cuales permitirán estimar el carbono almacenado en este tipo de ecosistema. El contenido de carbono total expresado como porcentaje de la biomasa base peso seco, se determinó con el equipo Solids TOC Analyzer que analiza los contenidos de carbono total en muestras sólidas mediante la combustión completa. Mediante un ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio no se encontraron diferencias en el contenido promedio de carbono total de las especies ( $Pr < 0.0564$ ), este contenido vario de 44.25 a 47.08 % con una media general de 45.52 %; *Cordia boissieri* ( $44.25 \pm 1.52$  %) y *Acacia farnesiana* ( $44.52 \pm 1.37$  %) en el sitio de Agricultura tradicional son las especies que resultaron con los valores menores, *Forestiera angustifolia* ( $47.08 \pm 1.27$  %) con el más alto en el sitio de Ganadería extensiva. Se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los componentes ( $Pr > 0.000$ ) de todas las especies, los componentes tallos ( $45.93 \pm 0.37$  %), ramas ( $45.73 \pm 0.35$  %) y ramillas ( $45.70 \pm 0.39$  %) mostraron un comportamiento similar en el contenido de carbono total, resultando diferencias mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) con el de las hojas este con el valor más alto ( $48.14 \pm 0.60$  %) y la corteza con el menor ( $42.08 \pm 0.42$  %). El análisis de varianza (con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ ) muestra que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 0.000$ ) entre las medias de los componentes de la biomasa aérea de las especies, el componente corteza de *Cordia boissieri* obtuvo el porcentaje de contenido de carbono menor de  $39.62 \pm 0.70$  %, las hojas de *Acacia schaffneri* el mayor  $50.14 \pm 1.21$  %. Se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $Pr > 0.000$ ) entre el contenido de carbono total de los componentes de cada especie, esto debido en su mayoría a los valores tanto

altos como bajos de los componentes corteza y hoja según la especie, el contenido de carbono total del tallo, ramas y ramillas en cada una de las especies fue similar.

## SUMMARY

Coefficients of total carbon content were generated for biomass unit base dry weight of 10 species and for each of their components (stem, branches, small branches, leaves and bark) of three areas with different historical use (Traditional Agriculture, Extensive Foraging and Matarasa) on Tamaulipan thornscrub, which will allow to estimate carbon stored in this type of ecosystem. The total carbon content expressed as a percentage of the biomass base dry weight, was determined with the Solids TOC Analyzer equipment, that analyzes the total carbon contents in solid samples by complete combustion. By a completely randomized ANOVA there were not any differences found in the average of total carbon content of the species ( $Pr < 0.0564$ ), this content varied from 44.25 to 47.08% with an general average of 45.52%; *Cordia boissieri* ( $44.25 \pm 1.52\%$ ) and *Acacia farnesiana* ( $44.52 \pm 1.37\%$ ) in the site of Traditional Agriculture those were the species that were with the smallest values, *Forestiera angustifolia* ( $47.08 \pm 1.27\%$ ) with highest in the site of Extensive Foraging. Highly significant differences were obtained ( $Pr > 0.000$ ) between the components of all the species, the stem component ( $45.93 \pm 0.37\%$ ), branches ( $45.73 \pm 0.35\%$ ) and small branches ( $45.70 \pm 0.39\%$ ) showed a similar behavior in the total carbon content, resulting with differences by using the test of Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) with the leaves this with the highest value ( $48.14 \pm 0.60\%$ ) and bark with the minor ( $42.08 \pm 0.42\%$ ). The variance analysis (with a level of significance of  $\alpha = 0.05$ ) showed that highly significant differences exist ( $Pr > 0.000$ ) between the averages of the components of the aerial biomass of the species, the component bark of *Cordia boissieri* obtained the smallest percentage of carbon content of  $39.62 \pm 0.70\%$ , the leaves of *Acacia schaffneri* the

highest  $50.14 \pm 1.21\%$ . Highly significant differences were obtained ( $P > 0.000$ ) between the total carbon content of the components of each species, this due in their majority to the high as much as low values of the components bark and leaf according to the species, the total carbon content of the stem, branches and small branches in each one of the species were similar.

## 1. INTRODUCCIÓN

La preocupación sobre las consecuencias del cambio climático global, generado por un eventual aumento de la temperatura del planeta y su relación con el incremento de los niveles de gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, en particular de CO<sub>2</sub>, ha sido motivo de múltiples estudios en las últimas décadas. Los científicos han establecido que desde 1885, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha aumentado en un 25%, producto de la combustión de fósiles para la generación de energía y la deforestación a nivel mundial. Una de las áreas de interés, corresponde a la capacidad de captación y de retención de carbono (C), por parte de los bosques, tanto naturales como plantaciones forestales. Esto se debe a que los bosques desempeñan un papel primordial en el ciclo global del C, almacenando grandes cantidades de este elemento en la biomasa y el suelo, además de su intercambio con la atmósfera a través de los procesos de fotosíntesis y respiración (Brown, 1999).

El vapor de agua es el más importante de los gases de invernadero en términos de atmósfera, aunque no directamente afectado por la actividad humana. Aquellos que si son afectados por la actividad humana incluyen el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), clorofluorcarbonos (CFC's) y ozono. Estos gases absorben más del 90% de la radiación infrarroja que es emitida desde la tierra. Como resultado, el calor es atrapado en la atmósfera, formando una temperatura superficial promedio de 15 °C. Sin estos gases de invernadero, la superficie de la tierra sería 30 °C más fría (Schneider, 1989; Dixon *et al.*, 1994).

Otra causa en el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> es el cambio de uso del suelo. La vegetación y el suelo de las áreas forestales retienen de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los sistemas agrícolas. Cuando los bosques se transforman en áreas agrícolas o ganaderas, una gran fracción de carbono se libera a la atmósfera. Se estima que la liberación de carbono por la

deforestación ha sido de 120 billones de toneladas. En la actualidad existe una pérdida anual mundial de 17 millones de hectáreas de bosque, liberando 1.8 billones de toneladas de carbono (Montoya *et al.*, 1995).

Este proceso de liberación de carbono a la atmósfera es factible de revertir al proteger y conservar los ecosistemas arbóreos y arbustivos, así como la aplicación de la reforestación y restauración de ecosistemas degradados. Lo anterior permitirá que exista una recaptura de CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Este sistema conocido como captura de carbono, podrá contribuir de manera significativa a reducir el calentamiento global (Jiménez, 2003).

La iniciativa del Protocolo de Kyoto arranca de la Tercera Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático celebrada en diciembre de 1997. Uno de los principales resultados del acuerdo fue el compromiso de todos los países de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero al menos 5% respecto de los niveles de 1990, con una fecha meta entre 2008 y 2012 (Documento del Protocolo de Kyoto).

El Protocolo de Kyoto establece las alternativas sobre mecanismos de flexibilidad en las cuales se basarían los convenios internacionales sobre captura de carbono. La opción para México está vinculada a los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) y lo importante es observar como deberán ajustarse los proyectos para que éstos sean elegibles por el sistema. Uno de los criterios importantes de selección de los proyectos sobre captura de carbono es contar con el componente indispensable que constituye la presencia de externalidades, el cual exige que los proyectos generen y activen el desarrollo local, brindando beneficio económico y social a los pobladores de las áreas forestales (Harmon, 2001).

Para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del cambio climático es imprescindible conocer la dinámica del carbono en los ecosistemas y las modificaciones a los flujos de carbono derivadas de los patrones de cambio de

uso de suelo. Para lograr la mitigación del cambio climático es indispensable contar con la información básica sobre los contenidos de carbono en los diferentes almacenes de los ecosistemas (Ordóñez, 1998).

Si bien en México existen algunos trabajos sobre captura de carbono en diferentes ecosistemas (Olguín, 2001), en los ecosistemas del Estado de Nuevo León, se cuenta con poca información relativa a este tópico, por lo que se hace necesario iniciar trabajos tendientes a establecer las bases metodológicas para la medición de la biomasa y la inventarización de esta variable, así como las evaluaciones del carbono capturado con fines de certificación, como una alternativa futura de generación de recursos económicos para los pobladores del área.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA**

En esta sección se presenta un panorama general de los temas relacionados con esta investigación como: cambio climático, los principales gases de efecto invernadero, las causas y consecuencias del cambio climático global; se explica el ciclo del carbono en los ecosistemas naturales, se habla de las fuentes y sumideros de carbono más importantes, de las opciones principales de mitigación de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el sector forestal, así mismo del potencial de los ecosistemas forestales como sumideros y fuentes de carbono. Se exponen métodos básicos para calcular el carbono total capturado o almacenado. Se abordarán los mecanismos propuestos durante la tercera conferencia de las partes organizada por la UNFCCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) llevada a cabo en Kyoto, Japón en el mes de diciembre de 1997 y por último una serie de ensayos con respecto al carbono almacenado en diferentes ecosistemas.

### **2.1 Cambio Climático**

Se define al cambio climático global como el posible aumento en la temperatura superficial del planeta que se produciría como consecuencia de un aumento importante y rápido de las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables (IPCC, 1995). La causa fundamental de este incremento es la emisión de estos gases provocados por actividades humanas (Masera *et al.*, 2000).

### **2.2 Efecto Invernadero**

Nuestro planeta está rodeado por una delgada capa de gases denominada atmósfera, compuesta por nitrógeno (78.3%), oxígeno (21.0%), argón (0.3%), dióxido de carbono (0.0359%) y otros gases en cantidades menores como helio,

neón y xenón. Además contiene aerosoles en cantidades variables y vapor de agua en concentraciones fluctuantes (Ordóñez, 1998).

El efecto invernadero es causado por ciertos gases que se encuentran en la atmósfera a los cuales se les conoce como gases de efecto invernadero. Estos últimos selectivamente absorben y emiten radiación infrarroja o energía calorífica. Los dos gases de efecto invernadero más poderosos son el vapor de agua ( $H_2O$ ) y el bióxido de carbono ( $CO_2$ ). (Shneider, 1989; Houghton y Woodwell, 1989; Goudie, 1990). Otros gases con concentraciones menores pero que producen el mismo efecto son el metano ( $CH_4$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), los clorofluorocarbonos (CFC) y el ozono ( $O_3$ ).

El efecto invernadero ocurre porque la superficie de la Tierra, la cual es más fría que el Sol, emite energía radiante en forma de longitudes de onda larga y los gases de efecto invernadero absorben algo de estas ondas infrarrojas emitidas por la superficie de la Tierra. Cuando esto último sucede se produce el calentamiento de la atmósfera. Estos gases también emiten radiación infrarroja y esta energía vuelve a calentar la superficie de la Tierra. Al evitar la rápida salida de la radiación infrarroja los gases de efecto invernadero actúan como una capa aislante alrededor de la Tierra, provocando que su superficie sea mucho más caliente que si estos no estuvieran presentes.

De la radiación solar que incide en nuestro planeta, la atmósfera y la superficie terrestre absorben un 70%. La radiación absorbida se refleja en forma de luz infrarroja. Los gases de invernadero absorben y reemiten en varias ocasiones esta radiación, dando lugar a un calentamiento de la superficie del planeta  $33^{\circ}C$  mayor que el que resultaría de escapar libremente la radiación al espacio exterior (Masera, 1991; Ordóñez, 1999).

### **2.3 Causas y Consecuencias del Cambio Climático Global.**

Las consecuencias del cambio climático son todos aquellos cambios en el medio ambiente físico o de la biota resultantes del cambio climático que tienen efectos nocivos significativos en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos y en la salud y bienestar de los humanos (IPCC, 1995).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático estima que un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero que duplique las concentraciones de CO<sub>2</sub> con respecto al nivel preindustrial daría como resultado un incremento de temperatura de 1.5 a 3.5 °C. Este cambio de temperatura provocaría, a su vez:

- a) Cambios en los patrones mundiales de precipitación pluvial, con diferencias regionales significativas.
- b) Elevación del nivel del mar de 0.2 a 0.6 metros, tanto por la expansión térmica de los océanos como por el derretimiento parcial de los glaciares en las montañas y de la capa de hielo en las regiones polares.
- c) Cambios en la humedad del suelo al aumentar la evaporación del agua.
- d) Cambios en los sistemas de vientos regionales los cuales a su vez influirían en la distribución pluvial a nivel global e incrementarían la frecuencia de inundaciones, sequías e incendios forestales y huracanes, tormentas de viento y de nieve ocurrirían con mayor intensidad y frecuencia.
- e) La muerte y destrucción de grandes extensiones de arrecifes coralinos por el incremento de las temperaturas marinas.

f) El crecimiento y desarrollo anormal de varias poblaciones de insectos, las cuales producirían efectos negativos en la agricultura y la salud humana.

g) Aumento en la propagación e incidencia de enfermedades tropicales como es la malaria.

## **2.4 El Ciclo del Carbono**

En la naturaleza el carbono se halla por doquier: en el agua bajo forma de compuestos carbónicos disueltos (carbonatos), y en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith *et al.*, 1993).

El ciclo de carbono comienza con la fijación del anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta, y el anhídrido carbónico liberado como producto de este proceso lo hace a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte son consumidos por los animales, que también respiran y liberan anhídrido carbónico. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera. (Schimel, 1995; Smith *et al.*, 1993).

## **2.5 Principales Fuentes y Sumideros de Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Fuentes:

El uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo son considerados a nivel mundial como las dos principales fuentes netas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, relacionadas con el cambio climático global (Mintzer, 1992). Los bosques mediante la respiración emiten 55 GtC año<sup>-1</sup> y por medio de descomposición emiten de 54 a 55 GtC año<sup>-1</sup>, siendo la descomposición y la respiración los dos procesos emisores naturales más importantes en los bosques, sus emisiones suman un total aproximado de 110 GtC año<sup>-1</sup>. Por su parte, los océanos emiten por procesos químicos y biológicos cerca de 90 GtC año<sup>-1</sup>.

Sumideros:

La vegetación terrestre a través de sus procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis, absorbe 110 GtC año<sup>-1</sup>. Los océanos absorben aproximadamente 93 GtC año<sup>-1</sup>, además de que se considera que conservan grandes cantidades de carbono (38,500 GtC). Como podrá notarse por los datos presentados anteriormente, las fuentes y sumideros eliminan de la atmósfera casi tanto carbono como el que aportan de forma natural; pero actividades humanas como la deforestación y la quema de combustibles fósiles están provocando un aumento neto en la cantidad de carbono atmosférico en unos 3 GtC año<sup>-1</sup> (Bolin *et al.*, 1986).

## **2.6 Opciones de Mitigación de Carbono en el Sector Forestal**

Una opción de mitigación de carbono está definida como cualquier acción que dé como resultado una reducción del incremento neto en las emisiones de este gas de un área determinada y/o por la substitución de combustibles fósiles (Masera, 1995). El IPCC identifica 3 opciones básicas de mitigación de carbono en el sector forestal:

- a) La conservación. Esta opción consiste en evitar las emisiones de carbono preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña, reduciendo la ocurrencia de incendios.
- b) La reforestación. Esta opción consiste en recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia, el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule, entre otros, así como de las plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de los sistemas agroforestales.
- c) La sustitución. Esta opción consiste en sustituir los productos industriales por aquellos hechos de madera, es decir obtener energía a partir de biomasa y finalmente por la reducción del uso de combustibles fósiles.

## **2.7 El Carbono Almacenado en Ecosistemas Forestales.**

El principal almacén de carbono lo constituye la atmósfera, que está asociado al oxígeno formando el CO<sub>2</sub> (como producto de la respiración y/o de algún proceso de combustión), el cual es incorporado a través de los estomas al interior de las hojas de las plantas, por medio de un proceso fotoquímico conocido como fotosíntesis (Montoya *et al.*, 1995).

Al incorporarse el CO<sub>2</sub> atmosférico a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, este gas participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que la planta pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). Al crecer, ésta incrementa su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa) así como su altura y el grosor de su tronco. Los componentes de la copa aportan materia

orgánica al suelo, que al degradarse se incorpora paulatinamente a la atmósfera (Ordóñez, 1998).

Los árboles al ir aumentando en diámetro y altura alcanzan un tamaño aprovechable en términos comerciales para extraer productos elaborados. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan, aportando CO<sub>2</sub> al suelo y/o la atmósfera. Durante el tiempo en que el CO<sub>2</sub> se encuentra en alguna estructura del árbol y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera se considera almacenado (Ordóñez, 1999). Aunque autores como Houghton *et al.*, (1999), Smaglik (2000), afirman que la tasa de acumulación de carbono en los ecosistemas terrestres y los mecanismos responsables del funcionamiento de los sumideros de carbono son inciertos.

La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze *et al.*, 2000).

Se ha estimado que el carbono (C) en la biomasa de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 y 230 y entre 25 y 190 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Brown *et al.*, 1997).

## **2.8 Métodos para Estimar la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales**

Se reconocen 5 diferentes depósitos donde se acumula el carbono en el ecosistema forestal (Brown, 1997):

- En la Biomasa sobre el suelo, que considera los árboles, la vegetación arbustiva y la vegetación herbácea.

- En la Biomasa bajo el suelo, que se refiere a las raíces de la vegetación del ecosistema estudiado, tanto de los árboles como del sotobosque.
- En la Hojarasca, que es la capa de material orgánico (hojas, ramillas, semillas, etc.) no descompuesto y cuyas formas se pueden reconocer a simple vista, también llamada mantillo o litera.
- En la Necromasa, que se refiere tanto a los árboles muertos en pie, como a los caídos, también troncos y todo el material muerto que se encuentra en el ecosistema
- En el Suelo, el cual es considerado por el IPCC (1996) hasta una profundidad de 30 cm, debido a que el cambio de uso de la tierra tiene un mayor efecto en los estratos superiores.

## **2.9 Carbono contenido en la vegetación (Cv)**

El carbono contenido en la vegetación es la suma del contenido en la biomasa aérea y la que se halla en la biomasa de las raíces. La biomasa aérea comprende el tronco, las hojas, las ramas y las partes reproductivas mientras que el carbono contenido en las raíces es definido como biomasa de las raíces (Maser *et al.*, 2000).

Una estimación de la cantidad de carbono en un bosque requiere que inicialmente se estime el peso seco de la biomasa. Después se estima la cantidad de carbono total. Se pueden llevar a cabo estudios específicos para determinar los porcentajes de carbono en los diferentes componentes de la biomasa. En la ausencia de estudios específicos y basados en previas investigaciones, generalmente se estima que el contenido de carbono varía alrededor de 50 por ciento del peso seco de la biomasa (Smith *et al.*, 1993; Ordóñez, 1998; Husch, 2001).

La biomasa forestal es definida como el peso seco (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado árbol, componente del árbol,

población, comunidad o ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectáreas de peso seco o verde (Brown, 1997). Es frecuente separarla por componentes, donde los más típicos corresponden a la biomasa del fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca y necromosa (Schlegel *et al.*, 2000).

La determinación adecuada de la biomasa de un bosque es un elemento de gran importancia, debido a que esta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown, 1997; Schelegel, 2001).

### **2.9.1 Métodos para estimar Cv**

Existen dos métodos para calcular la biomasa de los ecosistemas directos (destrutivo) e indirectos (utilizando ecuaciones alométricas) y su elección dependerá de los datos que estén disponibles al momento de realizar la estimación:

#### **1.- Método destructivo**

Este método utiliza datos colectados a partir de las mediciones destructivas de la vegetación, en una unidad de superficie determinada (Masera *et al.*, 2000). El método directo consiste en cortar el árbol, pesar la biomasa directamente y posteriormente determinar su peso seco (Brown, 1997). Por su alto costo, generalmente no se aplica.

#### **2.- Métodos utilizando ecuaciones alométricas**

En caso de no contar con datos de biomasa colectados destructivamente y tener sólo información secundaria como sería la altura y el diámetro de los árboles es

posible estimar el carbono contenido en la biomasa utilizando una serie de ecuaciones alométricas de regresión (Masera *et al.*, 2000). Una forma para estimar la biomasa con el método indirecto es a través de ecuaciones y modelos matemáticos, calculados por medio de análisis de regresión entre las variables de biomasa (pesadas en campo y de muestras secadas en estufa) colectadas normalmente en trabajos de investigación del área ambiental (Brown, 1997).

Návar *et al.*, (2004), consideran que el método destructivo en conjunto con el desarrollo de ecuaciones alométricas locales es el más preciso para estimar el volumen de biomasa aérea.

## **2.10 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (UNFCCC).**

En 1992 la UNFCCC estableció que su objetivo principal será “alcanzar la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que evite la interferencia antropogénica con el sistema climático. Dicho nivel deberá ser alcanzado en un período suficiente para permitir que los sistemas se adapten naturalmente al cambio climático con el objetivo de asegurar que la producción de alimentos no se vea afectada y para permitir que el desarrollo económico proceda de una manera sustentable.

### **2.10.1 Protocolo de Kyoto**

Durante la Tercera Conferencia de las Partes de la UNFCCC (Kyoto, Japón, 1997) las partes acordaron “cuantificar la limitación de emisiones y los compromisos de reducción” para aquellos 38 países desarrollados y los países con economías en transición listados en el Anexo B del Protocolo de Kyoto. El Protocolo no impone límites de emisión a aquellos países que no se encuentran listados dentro del Anexo B.

Los elementos clave del Protocolo de Kyoto establecidos en el año de 1997, se pueden sintetizar de la siguiente forma:

- 1.- Establece límites jurídicamente vinculantes para los países incluidos en el Anexo I (principalmente países industrializados) con respecto a sus emisiones de seis gases de efecto invernadero en relación con las emisiones de 1990, sobre la base de un promedio quincenal entre el año 2008 y el 2012.
- 2.- Permite a las partes cierta flexibilidad con respecto a la ejecución de sus compromisos a nivel nacional mediante actividades sancionadas específicamente con una posibilidad de ejecutar actividades adicionales.
- 3.- Ofrece flexibilidad en el contexto internacional permitiendo el uso del comercio de los derechos de emisión y otros mecanismos, inclusive proyectos conjuntos entre los países en desarrollo y desarrollados.
- 4.- Tiene un alcance global ya que cubre las emisiones por las fuentes y la absorción por los sumideros de gases de efecto invernadero, en todos los sectores, salvo algunas restricciones en materia de cambios en el uso de la tierra y silvicultura.

Los artículos del Protocolo de Kyoto de especial interés para el sector forestal y el cambio en el uso del suelo son el tercero (obligaciones), el quinto (metodologías), el sexto y el decimoséptimo (actividades conjuntas y comercio de los derechos de emisión) y el duodécimo (mecanismo para un desarrollo limpio).

### **2.10.1.1 Proyectos de Implementación Conjunta y Mecanismo de Desarrollo Limpio**

La ratificación del Protocolo de Kyoto incluye la puesta en marcha de una serie de mecanismos desarrollados para facilitar la reducción de los gases de efecto invernadero a través de un sistema de créditos y deudas en actividades llevadas a cabo en muy diversos sectores económicos. Ejemplos de estos últimos mecanismos lo constituyen las Actividades de Implementación Conjunta (AIC), las Actividades Conjuntas implementadas bajo las condiciones del Mecanismo de Desarrollo Limpio (AC - MDL) y el Comercio de Emisiones entre los países del Anexo B.

El Protocolo de Kyoto establece que los proyectos de Implementación Conjunta pueden ser llevados a cabo solo entre los países del Anexo I que sean parte del Protocolo (artículo 6). Mientras que en el artículo 12 define al Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) cuyo objetivo es asistir a los países que no están incluidos en el Anexo I (países en vías de desarrollo) a alcanzar un desarrollo sustentable y al mismo tiempo asistir a los países del Anexo I para que puedan cumplir sus compromisos de reducción de emisiones. Bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio, los países que no pertenecen al Anexo I se beneficiarán de las actividades propias de los proyectos que creen créditos de reducción de emisiones y los países en el Anexo I podrán usar estos créditos para cumplir sus compromisos de reducción de gases de efecto invernadero. En resumen, el Artículo 12 permite el comercio de créditos de reducción de emisiones entre los países industrializados y los que se encuentran en vías de desarrollo.

#### *Proyectos de Implementación Conjunta*

La UNFCCC permite que un país (o instituciones dentro del país) implementen prácticas y medidas para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero o aumentar los sumideros y almacenes de carbono, conjuntamente con otros

países del anexo I (UNFCCC, 1995). Estas acciones de cooperación son conocidas como actividades de implementación conjunta (AIC).

La diferencia entre las emisiones generadas al implementar el proyecto y las emisiones hipotéticas si el proyecto no hubiera sido implementado, se traduce en ganancias que generalmente se miden en toneladas de CO<sub>2</sub> o equivalentes de carbono. Estas cantidades pueden ser vendidas como *créditos de reducción* de emisiones a países desarrollados quienes las pueden utilizar para alcanzar sus compromisos de reducción de gases de efecto invernadero.

Es importante mencionar que con la implementación de este tipo de proyectos se producen beneficios para los países participantes y para la comunidad internacional en su conjunto.

Sin embargo, la eficiencia de estos proyectos aún es muy cuestionada y ello se debe a que todavía no existen mecanismos que permitan evaluar con certeza la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero. Para calcular estas reducciones, el desarrollo del concepto y las metodologías para calcular las *líneas de base* son de fundamental importancia.

### *Mecanismo de Desarrollo Limpio*

El mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) constituye la propuesta del artículo 12 del Protocolo de Kyoto y está diseñado para ser el medio que financie los proyectos de desarrollo limpio y desarrollo sustentable en los países tropicales – principalmente – a cambio de créditos certificados de reducción. Sus puntos principales son los siguientes:

1.- El objetivo del MDL

Asistir a los países no incluidos en el Anexo I para alcanzar un desarrollo sustentable y a los países incluidos para alcanzar sus compromisos (incluidos en el Artículo 3 del Protocolo de Kyoto) de reducción y limitación de emisiones.

2.- Como parte del mecanismo de desarrollo limpio:

- a) Los países que no estén incluidos en el Anexo I se beneficiarán de los proyectos que produzcan reducciones certificadas de las emisiones y
- b) Los países incluidos en el Anexo I podrán utilizar las reducciones certificadas de emisiones para alcanzar los compromisos y limitaciones establecidos en el Artículo 3 del protocolo de Kyoto.

3.- Los beneficios que el MDL proporciona a nivel mundial incluyen:

- La reducción de los costos globales de mitigar emisiones de gases de efecto invernadero y
- El fomento del desarrollo sostenible

*Beneficios que el MDL genera*

Entre los beneficios que reciben los países participantes se cuentan, entre otros:

- La transferencia de tecnología
- Beneficios ambientales y de salud
- Beneficios económicos y sociales (que pueden incluir, por ejemplo, capacitación y la construcción de infraestructura) y
- La promoción de desarrollo sostenible

## 2.11 Ensayos de Carbono Almacenado en Ecosistemas Forestales

En las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para biomasa aérea se asume generalmente el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% sin diferenciar especies (Brown, 1999; IPCC, 1996). No obstante, diferentes estudios denotan la variabilidad del contenido de carbono según especie y tejido del árbol (Cubero y Rojas, 1999; Torres, 2002; Peri *et al.*, 2004; Gayoso y Guerra, 2005); a continuación se presentan unas series de investigaciones relacionadas con el tema.

Schroeder (1992), en un estudio realizado con 9 especies tropicales de corta rotación, menciona que los incrementos medios anuales en una plantación tropical pueden ser muy altos, pero que el carbono es almacenado por un período de tiempo relativamente corto. Según el autor, es necesario tener una estimación del total de carbono que puede ser almacenado indefinidamente, o por lo menos, por muchas décadas y muchas rotaciones. Los resultados del estudio indican que tres especies, *Pinus caribea*, *Leucaena*, como especie de leña y *Pinus patula*, presentan el mismo incremento medio anual ( $20\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ). La habilidad de estas especies para almacenar carbono a largo plazo es muy diferente. *Pinus patula* puede almacenar  $72 \text{ t C. ha}^{-1}$  contra  $42 \text{ t C ha}^{-1}$  de *Leucaena*, lo que representa 70% menos que el *Pinus patula*. La razón de esa diferencia es el período de tiempo en el cual la tasa de crecimiento se mantiene. *Pinus patula* mantiene la tasa de crecimiento por más de 20 años, mientras *Pinus caribea* por 15 años y *Leucaena* por 7 años. Cuanto mayor es el período de rotación, mayor es la acumulación de biomasa en el tiempo y mayor es el carbono almacenado. El período de rotación y la tasa de crecimiento anual interactúan para determinar la reserva de carbono. La tasa de crecimiento anual por si sola no caracteriza adecuadamente el potencial de almacenamiento de carbono de la especie.

Cubero y Rojas (1999), evaluaron en términos ambientales y económicos la fijación y almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Realizaron un muestreo por especie, edad y sitio para obtener la fracción de carbono en la biomasa seca. Para la selección de los árboles, establecieron seis parcelas temporales de muestreo, de forma circular de 250 m<sup>2</sup> cada una en las edades más jóvenes y 500 m<sup>2</sup> en las más viejas. En las parcelas le midieron a todos los árboles: el diámetro a la altura del pecho y altura. Seleccionaron tres árboles tipo, árboles que presentaban las mejores características en diámetro, altura y forma por parcela, de los cuales obtuvieron muestras para realizar la determinación de la fracción de carbono, mediante el método de calorimetría, el cual permite obtener de cada muestra la cantidad de energía total en Kcal/kg, transformadas a moles de carbono potencial fijado mediante la relación de moles (g/peso molecular). Las muestras las tomaron a la altura de 1.30 metros de la base del árbol, en total tomaron 162 muestras, 54 por especie. Los resultados que obtuvieron para la fracción de carbono en las tres especies vario de 0.32 a 0.40, para las plantaciones los valores promedios en toneladas de carbono por hectárea fueron: *Gmelina arborea*, con una edad de 4 años = 16, 8 años = 55, 12 años = 39, *Tectona grandis*, 5 años = 25, 8 años = 50, 12 años = 68 y *Bombacopsis quinata*, 5 años = 19, 8 años = 28, 15 años = 26.

Barrionuevo *et al.*, (2001), estimaron el contenido de carbono presente en la biomasa aérea del Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*) por ser la especie dominante del bosque Chaqueño Semiárido de Santiago del Estero, Argentina. Para la determinación de la biomasa, emplearon la relación de volumen y de peso específico de la especie. Los valores de biomasa comercial fueron corregidos por los factores de expansión correspondientes para luego estimar el contenido de carbono respectivamente. Sobre un total de 25 ha los resultados fueron: carbono total de la muestra: 193,100 ton; carbono total por ha:

7,724 ton; carbono fijado en la muestra 25,473 ton; carbono fijado por ha 1,018 ton.

Ordóñez *et al.*, (2001), utilizaron el modelo dinámico de simulación CO<sub>2</sub>Fix para Windows Ver. 1.2., para obtener la captura potencial de carbono en un bosque templado (10,653 ha) en la comunidad de Nuevo San Juan, Michoacán. Para realizar la estimación de captura de carbono obtuvieron, en primera instancia, los datos generales del plan de manejo forestal. Una vez integrados los datos de diferentes rodales, procedieron a obtener una curva de crecimiento con todos los valores de los rodales, los datos fueron sometidos a un análisis estadístico, con la aplicación de regresiones (lineal y exponencial) para utilizar la que mejor represente el comportamiento (crecimiento). Una vez terminado el análisis estadístico y obtenida la curva de crecimiento, procedieron a integrar los valores al modelo CO<sub>2</sub>Fix, y realizaron los cálculos integrativos de la especie, para estimar la captura de carbono en biomasa, productos, suelo y carbono total. El carbono total estimado en el largo plazo (250 años) fue de 217 tC/ha; la biomasa (aérea y subterránea) con 74 tC/ha, los productos con 49 tC/ha y el suelo con 94 tC/ha.

Callo-Concha *et al.*, (2002), en la amazonía peruana evaluaron los volúmenes de carbono secuestrado para seis sistemas agroforestales y/o sistemas de uso de tierra (bosque primario, bosque secundario, café+sombra, silvopastoril, pastura y huerto casero) en tres variantes ecológicas (repeticiones): selva alta, media y baja; fragmentado el muestreo en biomasa arbórea, en parcelas de 4 x 25 m, midieron la altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles, en caso de individuos que superaran los 30 cm de DAP extrapolaron la parcela a 5 x 100 m superpuesta a la primera, además subparcelas de 1 m<sup>2</sup> para la biomasa arbustiva y herbácea. La biomasa arbórea la estimaron mediante ecuaciones alométricas, la arbustiva y herbácea de la relación de peso fresco - peso seco, el contenido de carbono en la biomasa lo obtuvieron en función de una constante proporcional a la biomasa: 0.45. En el bosque primario el valor

medio del contenido de carbono en la biomasa arbórea y arbustiva-herbácea (t C/ha) respectivamente fue de 196 y 0.75, para el huerto casero: 77 y 0.54, bosque secundario: 67 y 0.78, café+sombra: 45 y 0.63, silvopastoril: 30 y 0.91 y pastura 2 y 1.28.

Gayoso (2002), desarrolló funciones de biomasa, factores de expansión y reducción y definió la metodología de inventario de carbono para determinar la capacidad de captura de carbono de distintos bosques de Chile. El estudio comprendió de 14 especies del bosque nativo siempreverde y 3 especies de plantaciones exóticas. Las funciones de biomasa y coeficientes de expansión fueron estimados en base a ensayos destructivos sobre 540 árboles y la extracción de 137 raíces. El inventario de carbono se basó en 168 parcelas, de tamaño entre 250 y 500 m<sup>2</sup>, distribuidas en 13 predios forestales. Los contenidos de carbono los determino en laboratorio mediante oxidación, empleando una solución de dicromato de potasio en ácido sulfúrico y medido colorimétricamente. Los resultados para las especies nativas del tipo forestal siempreverde (árboles de DAP > 10 cm) muestran que la biomasa aérea de los árboles se distribuyó como sigue: 0.62 – 5.05% en las hojas, 6.09 – 22.23 % ramas, 61.89 – 88.06 % fuste y 4.62 – 16.21 % en la corteza. La importancia de las raíces (diámetro > 5 mm) como promedio para todas las especies medidas del bosque siempreverde alcanzo a 27.50 % de la biomasa aérea. El contenido de carbono varió entre 34.86 % y 48.15 %, según el componente. En rodales de *Pinus radiata* D. Don, edad de 23 años, la biomasa alcanzo: 4.07 % en las acículas, 9.08 % en las ramas, 5.64 % en la corteza y 80.56 % en el fuste comercial con índice de utilización 8 cm. Las raíces correspondieron al 25.39 % de la biomasa aérea. El contenido de carbono varió entre 44.69 y 45.47 % para los distintos componentes. El carbono acumulado por unidad de superficie fue muy variable según el tipo y estado del bosque. Destacan los bosques siempreverdes adultos, donde el carbono total alcanzo 606.80 MgC/ha, con la siguiente distribución: 283.75 MgC/ha en la biomasa aérea, 79.92 MgC/ha en raíces (diámetro >5 mm), 2.79 MgC/ha en el sotobosque, 53.56 MgC/ha en la

necromasa, 5.87 MgC/ha en la hojarasca y 180.91 MgC/ha en los primeros 30 cm de suelo.

Torres (2002), determino la capacidad de almacenaje de carbono del sotobosque, en dos áreas de Valdivia, Chile: Chaihuín ubicada en la Cordillera de la Costa donde existe un bosque del Tipo Forestal Siempreverde Subtipo Renoval de Canelo y Riñihue (sector Putraique) en la Precordillera de los Andes con un bosque del Tipo Forestal Siempreverde Subtipo Intolerantes Emergentes. El sotobosque lo dividieron en tres categorías: *Chusquea*, regeneración arbórea y herbácea. En cada zona de estudio instalaron conglomerados, dentro de cada uno de estos ubicaron 2 parcelas de 500 m<sup>2</sup>, con su respectivo número de parcelas de sotobosque de 1 m<sup>2</sup>. Para obtener la biomasa recolectaron muestras representativas de las especies determinando su relación peso fresco - peso seco, el método para la determinación del carbono en la biomasa fue el colorimétrico, el cual se basa en la oxidación del carbono mediante una solución oxidante. El contenido de carbono en porcentaje para las diferentes categorías de sotobosque en los dos sitios vario de 37 – 40 %. El sotobosque del sector Chaihuín, presento un almacenamiento de carbono de 1.2 t C/ha, en este sector, la categoría que aportó mayor cantidad de carbono fue la regeneración arbórea con 801.7 kg C/ha. El sotobosque del sector Putraique, presentó un almacenamiento de carbono de 9.7 t C/ha, la categoría que aportó mayor cantidad de carbono fue *Chusquea culeou* con 8.4 t C/ha.

Ares *et al.*, (2002), estimaron la cantidad de carbono en la biomasa aérea, en una plantación de palmito (*Bactris gasipaes*) en Guápiles, región Atlántica de Costa Rica. Seleccionaron 18 plantaciones de palmito de la variedad Utilis-Tucurrique, en cada sitio eligieron una parcela de 200m<sup>2</sup> al azar. A los rebrotes de cada cepa en la parcela, les midieron el diámetro basal a los 5 cm sobre el suelo, les calcularon la biomasa del tallo, el pecíolo, el follaje y la biomasa total mediante ecuaciones alométricas. Los valores de biomasa aérea los convirtieron

a carbono (C) usando una relación carbono: biomasa seca de 0.45 (Barbour *et al.*, 1987). Obtuvieron un valor de 2.4 ton C/ha.

Dauber *et al.*, (2002), estimaron el carbono almacenado en la biomasa aérea en bosques naturales de cuatro ecoregiones Bolivianas: Amazonia (A), Preandino amazónico (PA), Transición Chiquitano amazónica (TCA) y Chiquitania (CH). Utilizaron datos de 600 mil árboles obtenidos en 74 inventarios forestales para estimar la biomasa mediante la ecuación más exacta descrita por Brown *et al.*, (1989) de tipo exponencial y derivada para el Bosque húmedo; el carbono almacenado en la biomasa aérea total lo calcularon multiplicando esta última por el factor 0.5 (Brown, 1999). Los resultados que obtuvieron de biomasa aérea (B) y carbono almacenado (CA) en cada región se presentan en la siguiente tabla:

Región	Rango	B (ton C/ha)	CA (ton C/ha)
A	Mínimo	78	39
	Medio	171	86
	Máximo	228	114
PA	Mínimo	86	43
	Medio	129	64
	Máximo	191	94
TCA	Mínimo	74	37
	Medio	97	49
	Máximo	133	66
CH	Mínimo	73	36
	Medio	114	57
	Máximo	157	79

Fragoso (2003), estimó el contenido y captura potencial de carbono en especies maderables del predio “Cerro grande”, municipio de Tancítaro Michoacán. El predio posee en su totalidad 388.750 ha. Estableció 169 sitios de muestreo de dimensiones fijas de 1,000 m<sup>2</sup>, cubriendo un total de 16.9 ha, en donde consideraron todos los árboles que encontraron dentro del círculo, a los cuales les realizó mediciones como diámetro, altura, además selecciono tres árboles que presentaran características representativas del sitio, para determinar edad e

incremento. Utilizo el método propuesto por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 1996) que sugiere la aplicación de a...b...c... variables que sirvieron para estimar el carbono almacenado en cada uno de los rodales que conforman el área de estudio. Proyectando los siguientes resultados en el contenido de carbono en biomasa aérea del predio: *Abies religiosa* 15, 800 tC, *Pinus pseudostrobus* 5, 433 tC, *Quercus laurina* 3,040 tC.

Zamora (2003), estimo el contenido de carbono en la biomasa aérea del bosque de pino-encino del ejido “La Majada” en el Municipio de Peribán de Ramos Michoacán. Utilizó un diseño de muestreo sistemático estratificado, tomando como unidad mínima de muestreo al rodal. La muestra la distribuyó en todos los rodales levantando un total de 439 muestras, que cubren una superficie de 1,000 m<sup>2</sup> de cada sitio, empleó sitios de dimensiones variables utilizando un relascopio de Bitterlich con factor de área basal 1.0, en los cuales obtuvo el área basal, consideró únicamente los árboles que están dentro del rango del factor utilizado y lo tomó en cuenta como muestra, en caso de aquellos árboles que no alcanzaron a entrar totalmente los consideró como medias muestras, en este caso realizó mediciones como diámetro normal y altura promedio. El cálculo del contenido de carbono lo obtuvo a partir de las existencias reales por hectárea y totales, una vez que obtuvo éstos datos, realizó el calculo mediante el método propuesto por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 1996) que sugiere la aplicación de diferentes variables que sirvieron para estimar el carbono almacenado en cada uno de los rodales, los valores resultantes del contenido de carbono almacenado en biomasa aérea fueron: en el caso del género *Pinus* 22 t C/ha, para el género *Abies* 28 t C/ha, en el caso del género *Quercus* 6 t C/ha.

Lapeyre *et al.*, (2004), determinaron la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en la región de San Martín-Perú, con la finalidad de conocer el potencial de captura de carbono. Los sistemas de uso de la tierra que evaluaron fueron: Bosque primario, Bosque secundario de diferentes edades (50 y 20

años), sistemas agrícolas locales maíz (*Zea mays*) con un tiempo de siembra de 90 días, arroz (*Oriza sativa*) tiempo de siembra 70 días, pastos (*Brachiaria*) con tres meses de haberse establecidos y sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) bajo sombra con una edad de 4 años y cacao (*Cacao*) 15 años. La metodología de evaluación que utilizaron fue desarrollada por el ICRAF siguiendo los procedimientos del Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra. Esta metodología se basa en la determinación de la biomasa total mediante el uso de ecuaciones alométricas si son árboles y en la toma de muestras en forma disturbativa de los cultivos, pastos (Arévalo *et al.*, 2003; Woomer *et al.*, 2000). Obtuvieron los siguientes resultados (Ton C/ha): Bosque primario = 485, Bosque secundario 50 años = 234, Bosque secundario 20 años = 62, maíz = 4, arroz = 1.7, pastos = 2.3, café = 19 y cacao = 47.

Callo-Concha *et al.*, (2004), durante un ciclo de producción, estimaron los volúmenes y dinámica de captura de carbono atmosférico por sistemas agroforestales (SAF's) en la zona citrícola de Veracruz. Los SAF's evaluados fueron: Cítricos + plátano (Ci+PI), Cítricos + café (Ci+Cf), Cítricos + café + plátano (Ci+Cf+PI), Cítricos + pelibuey (Ci+Pe), Cítricos + cobertura (Ci+Co). La biomasa arbórea la estimaron mediante modelos alométricos por inferencia de sus principales medidas biométricas: altura, diámetro a la altura del pecho y constantes específicas. El contenido de carbono lo calcularon en función de una constante proporcional a la biomasa: 0.45. Los resultados que obtuvieron en toneladas de carbono por hectárea (ton C/ ha) fueron para Ci+PI = 47, Ci+Cf = 56, Ci+Cf+PI = 61, Ci+Pe = 73 y Ci+Co = 39.

Montero *et al.*, 2004, realizaron una estimación de la biomasa y de la cantidad de carbono que hay acumulado en las masas de *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica* de los montes Matas de Valsaín y Pinar de Valsaín (Segovia, España) con una extensión de 2,161.5 ha y 7,216.8 ha respectivamente. Para ello utilizaron los datos de muestreos realizados por el CIFOR-INIA para ambas

especies. Eligieron al menos tres pies por clase diamétrica, los apearon y separaron en fracciones de biomasa (fuste, ramas de diámetro mayor de 7 cm, ramas de diámetro entre 2 y 7 cm, ramas menores de 2 cm) que se pesaron en campo. Se extrajo el tocón de un pie por clase diamétrica y se pesó en verde. En laboratorio determinaron el peso seco de las muestras y hallaron modelos para las distintas fracciones que relacionaran la biomasa seca con el diámetro. Con estos modelos calcularon valores modulares que aplicaron a los datos del número de pies, obtenidos de los inventarios, para estimar la biomasa total de los montes. En el caso del *Q. pyrenaica*, el contenido de carbono de la materia seca fue del 47.5%, mientras que para el *P. sylvestris* consideraron el 50% (Ibáñez, 2001). En el monte Pinar de Valsaín mantenía fijadas en su biomasa arbórea 2,870 t de Carbono, de las cuales 2,860 t estaban fijadas por *Pinus sylvestris* (0.4 t C/ha) y 10 t por *Quercus pyrenaica* (0.001 t C/ha), a su vez Matas de Valsaín tenía acumuladas 463 t, de las que 359 t correspondían al pino (0.17 t C/ha) y 104 t al encino (0.05 t C/ha).

Peri *et al.*, (2004), estimaron el contenido de carbono en bosques de ñire (*Nothofagus pumilio*) en la Patagonia Sur, Argentina, en diferentes fases de desarrollo [desmoronamiento – 200 años (DES), envejecimiento – 152 años (ENV), crecimiento óptimo final – 85 años (COF), crecimiento óptimo inicial – 45 años (COI), regeneración – 7 años (REG)]. Muestrearon un total de 51 individuos, 12 por cada fase de desarrollo, para DES solamente fueron 3, todos fueron cortados y divididos en sus compartimentos (hojas, ramas finas, albura, duramen, corteza y raíces). La biomasa del fuste la determinaron mediante la multiplicación de la densidad por el volumen y la de los compartimentos mediante la relación peso húmedo: peso seco. De las muestra obtuvieron submuestras de 35 cm<sup>3</sup> para efectuar los análisis químicos de carbono. Obtuvieron un porcentaje promedio de la concentración de carbono de 49% y los valores medios de los contenidos de carbono total (kg/árbol) fueron: Des = 175, ENV = 100, COF = 49, COI = 5 y REG = 0.4.

Castañeda-Mendoza *et al.*, (2005), mediante ecuaciones alométricas evaluaron el potencial de una especie de Bambú (*Bambusa oldhamii* Munro) para secuestrar carbono, calcularon la biomasa aérea total y su distribución por componente (tallos, ramas y hojas), en una plantación de bambú de siete años. Con base en una muestra de 22 culmos (fustes) por generación, obtuvieron ecuaciones para los cuatro cohortes (grupos de edades) de culmos presentes (uno a cuatro años de edad). Para el cálculo de la concentración de carbono en la biomasa, supusieron que el 50 % de la biomasa es carbono (Brown, 1997). La biomasa y la cantidad de carbono presentes en la plantación respectivamente fue de 103.97 Mg/ha y 51.93 Mg/ha, de los cuales 83.7% se acumulo en el tallo, 12.3% en follaje y 4% en las ramas.

Martínez *et al.*, (2005), evaluaron el papel de la vegetación herbácea de cuatro sistemas riparios (Bosque de ribera natural, área riparia restaurada a finales de 1994, área de ribera restaurada en 1999 y área riparia deforestada) como captadores de carbono en las riberas del río Henares en el término municipal de Alcalá de Henares (Centro de España). La biomasa del estrato herbáceo la evaluaron por métodos directos. Para ello cortaron 0.25 m<sup>2</sup> de vegetación en cada una de las nueve unidades de muestreo establecidas al azar en cada área o zona de trabajo. Las muestras las cortaron a ras del suelo, obtuvieron peso fresco y seguidamente las pasaron a la estufa a 80° C hasta obtener peso seco constante. Los muestreos los realizaron en primavera y otoño del 2002. La biomasa del pasto la evaluaron dentro de un conjunto total, cuantificándose en kg de ms/ha. El contenido de carbono (C) lo obtuvieron a partir de las muestras cortadas para evaluar su biomasa. Las muestras las molieron en molino Culatti con un tamiz de malla de 1mm. El carbono de las muestras de vegetación lo estimaron como el 50 % de la materia orgánica (MO) (Maithani *et al.*, 1998), la MO la evaluaron por calcinación. Los resultados que obtuvieron (kg C/ha) en primavera y otoño respectivamente fueron: Bosque natural = 426 y 183, Área

restaurada en 1994 = 1,232 y 358, Área restaurada en 1999 = 1,333 y 357, Área deforestada = 1,348 y 298.

Gayoso y Guerra (2005), determinaron el contenido de carbono (C) en fuste, ramas, hojas y corteza para 16 especies del bosque nativo en Chile. Las muestras las colectaron en 53 parcelas de 7 áreas forestales, en cada área de muestreo establecieron cuatro parcelas de 500 m<sup>2</sup> cada una, en parejas distribuidas al azar, separadas a una distancia de 60 metros. El método consideró la tabla de frecuencia, según clase diamétrica para determinar el número de individuos a muestrear por especie en cada sitio, pero asegurando al menos un individuo de cada especie por cada clase diamétrica con frecuencia de al menos tres individuos. Analizaron 2,034 muestras provenientes de la madera del fuste, corteza, ramas y hojas de 409 árboles. Las muestras fueron molidas y secadas en estufa a 103 °C, para luego determinar el contenido de carbono orgánico mediante el método de Walkey y Black descrito por TESAM y CONAMA (1996), que consiste en la oxidación con una solución de dicromato de potasio en un medio sulfúrico. Los contenidos promedio de C orgánico en las especies fluctuaron entre 34.9 y 48.3%, y el promedio simple alcanzó a 43.7 %. Mientras, el C total mostró ser en promedio 5.5 % mayor que el contenido de C orgánico. Encontraron diferencias significativas en el contenido de C orgánico entre grupos de especies y entre componentes del árbol. El carbono del fuste (44.4 %) para todas las especies resultó ligeramente mayor que en las ramas, hojas y corteza (43.5 %), siendo mayor la variabilidad en estos últimos.

Pérez *et al.*, (2006), determinaron la biomasa aérea y estimaron el carbono retenido en esta, en una formación de monte del chaco subhúmedo-semiárido en la provincia de Salta, Argentina. Delimitaron 3 ha, definiendo 3 bloques de 1 ha. Para el inventario total de árboles de diámetro mayor a 10 cm trabajaron con 5 subdivisiones de 2000 m<sup>2</sup> por bloque, identificando especie y DAP. Las especies presentes fueron: *Prosopis torquata*, *Mimozyanthus carinatus*, *Caesalpinia paraguarienses*, *Prosopis negra*, *Ziziphus mistol*, *Aspidosperma*

*quebracho blanco* y *Schinopsis quebracho colorado*. Para arbustos definieron dos parcelas de 300 m<sup>2</sup> por bloque, en la que recolectaron la totalidad de los mismos determinando el peso fresco y posteriormente el seco. Utilizaron ecuaciones de ajuste para determinar el carbono retenido en la biomasa aérea. Los valores promedios que obtuvieron para árboles y arbustos respectivamente fueron: 126 Mg C/ha y 17.78 Mg C/ha.

Leblanc *et al.*, (2006), cuantificaron el carbono almacenado (C) en el suelo y la biomasa del sistema de cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. La plantación tenía 7 años de haberse establecido en un potrero abandonado, con una extensión total de 10 ha, a una densidad de siembra de 143 plantas ha<sup>-1</sup>, seleccionaron 4 ha al azar como área de muestreo, Para determinar el contenido de C en la biomasa muestrearon dos plantas por hectárea, para un total de ocho plantas. La biomasa la separaron en troncos y hojas, obtuvieron el peso fresco. Para determinar el contenido de materia seca, utilizaron una submuestra de 200 g que fue secada a 60°C hasta que alcanzó un peso constante. Las muestras secas las molieron a un tamaño de partícula de 203 µm. El carbono almacenado en la biomasa (CAB, Mg ha<sup>-1</sup> C) lo calcularon a partir del contenido de carbono en la biomasa (%CB) y el peso seco (PS) de la biomasa: CAB = %CB \* PS. El contenido de C se determinó con un autoanalizador de C: N (Perkin Elmer, Serie II, 2400). La biomasa aérea total de la palma africana capturó en las hojas 10.88 Mg ha<sup>-1</sup> de C (48.0 %) y 11.8 Mg ha<sup>-1</sup> de C (52.0 %) en el tallo. La tasa de fijación media anual de C en la biomasa aérea de la palma africana fue de 3.24 Mg ha<sup>-1</sup> de C por año.

Petre *et al.*, (2006), estimaron la capacidad potencial de secuestro de carbono en biomasa arbórea aérea a partir de determinar los almacenes actuales de las especies representativas y predominantes que son Ñandubay (*Prosopis affinis*), Algarrobo (*Prosopis nigra*) y Espinillo (*Acacia caven*) en el bosque nativo de Entre Ríos, Argentina. El muestreo se ajustó a la disponibilidad arbórea de los predios, donde ubicaron los sitios, a partir de los inventarios de las parcelas

seleccionaron los árboles muestra. Utilizaron el método de la tabla de frecuencia según clase diamétrica para determinar el número de individuos a muestrear por especie, asegurando al menos un individuo de cada especie por cada clase diamétrica con frecuencia de al menos tres individuos (Schlegel, *et al.*, 2000). El muestreo lo realizaron al azar, obteniendo de cada árbol las variables alométricas representativas. Una vez escogidos los árboles los trozaron con motosierra eléctrica. Analizaron los contenidos de carbono en los componentes que forman parte de la mayor fracción de la biomasa total: 1) el fuste, 2) las ramas principales mayores a 5 centímetros de diámetro y 3) las ramas más finas. Determinaron el porcentaje de carbono orgánico total por combustión seca, con un equipo analizador automático de carbono LECO, modelo CR12, con detector infrarrojo de carbono. El porcentaje promedio de carbono orgánico total que obtuvieron para los diferentes componentes y especies fue de 47 %, los valores de carbono almacenado en la biomasa aérea fueron: *Prosopis affinis* 24 Ton C/ha, *Prosopis nigra* 15 Ton C/ha y *Acacia caven* 29 Ton C/ha.

Madrigal *et al.*, (2006), determinaron la distribución de la biomasa y fijación de carbono tras clareos mecanizados intensos en regeneración post-incendio de *Pinus pinaster* en la provincia de Guadalajara (España). Realizaron un diseño por bloques al azar estableciendo 9 parcelas cuadradas de 20 m de lado realizando los siguientes tratamientos, con 3 repeticiones en cada uno de ellos: Tratamiento A: clareo y roza mecanizada por fajas, Tratamiento B: clareo y roza mecanizada por fajas, más clareo y desbroce manual en la entre-faja, Tratamiento T: testigo. Hicieron un inventario dendrométrico anual desde 2000 a 2004 y un inventario destructivo de biomasa cada dos años, extrayendo de cada tratamiento 10 pies representativos por clases diamétricas. Para el cálculo del C secuestrado tomaron el criterio de Kollmann (1959) que fija para el género *Pinus* un porcentaje del 50% en peso de C por cada fracción de biomasa seca. Mediante la aplicación de modelos de distribución de biomasa a cada uno de los inventarios anuales les permitió obtener una estimación de la cantidad de C fijado en las diferentes fracciones de cada árbol. En la siguiente tabla se

muestran los resultados de carbono total secuestrado (toneladas de carbono por hectárea) por año y tratamiento:

2000			2001			2002			2003			2004		
A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B	T
3.4	3.1	3.5	2.3	1.6	5.6	3.5	2.9	7.8	5	4.1	10	8.8	7	16

Ramírez *et al.*, (2006), en la granja Balcanes de la Universidad de la Amazonia en el Piedemonte amazónico de Colombia realizaron un experimento con el fin de determinar la producción de biomasa de cuatro árboles y arbustos forrajeros (*Cratylia argentea*, *Gliricidia sepium*, *Clitoria fairchildiana* y *Trichantera gigantea*) sembrados como banco de proteína y estimar la capacidad de captura de carbono. Los individuos fueron sembrados a razón de 20.6, 20.7, 31.0, y 27.7% respectivamente, en surcos por especie separadas 1 m entre plantas y entre surcos, en un diseño de bloques al azar con tres bloques, en un suelo con una pastura degradada. La materia seca (MS) acumulada a 1 m de altura de la planta, después de ocho cortes en 750 días, fue significativamente más alta ( $P < 0.05$ ) para *C. argentea* (3496 g/planta) que para *T. gigantea* (1736 g/planta) y *C. fairchildiana* (1608 g/planta). *Gliricidia sepium* produjo 2763 g/planta, similar ( $P < 0.05$ ) a *T. gigantea* y *C. fairchildiana*. El Carbono total estimado en la biomasa de la pastura degradada fue de 0.9 toneladas/ha, mientras que en la biomasa acumulada del banco de proteína fue de 9.54 t/ha.

Pacheco *et al.*, (2007), evaluaron el potencial de una plantación de 6 años de edad de *Pinus greggii* Engelm., para almacenar carbono en la biomasa aérea, establecida en Cuaunepantla, Acaxochitla, estado de Hidalgo, México. Mediante la relación de peso fresco:peso seco estimaron la biomasa total aérea en una muestra de 20 árboles, los cuales los separaron en tallo, ramas y follaje. Para estimar el contenido de carbono en cada componente seleccionaron tres muestras compuestas de los 20 árboles muestreados, las muestras de ramas y fuste (aserrín) las obtuvieron del aserrado de piezas, el follaje y la madera las pasaron por un molino con tamiz 0.425mm, después fueron procesadas por el

método de combustión seca en un analizador automático de carbono Shimadzu TOC 5000-A, resultando un contenido de carbono promedio para los tres componentes de 51%. La biomasa seca aérea promedio fue de 8 kg por árbol, de la cual 4.1 kg se ubico en el tallo, 1.9 kg en ramas y 2 kg en follaje. La productividad primaria neta fue estimada en 5.8 t/ha/año, para una densidad de 4,425 árboles/ha, obtuvieron un valor de potencial de acumulación de carbono de 17.9 t/ha.

Ibrahim *et al.*, (2007), estimaron el almacenamiento de carbono orgánico de la biomasa arbórea arriba del suelo en distintos usos de la tierra en Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Los usos de la tierra evaluados fueron pasturas degradadas, pasturas naturales y mejoradas con y sin árboles, bancos forrajeros, plantaciones forestales, bosques riparios y bosques secundarios. Para determinar el carbono (C) en la biomasa lo estimaron estableciendo parcelas temporales donde midieron el diámetro a la altura del pecho de todos los árboles y la biomasa la calcularon mediante ecuaciones alométricas. La biomasa fue multiplicada por 0.5 para estimar el contenido de carbono (IPCC, 2003). Los valores que obtuvieron de carbono en la biomasa (t/ha) fueron: a) Costa Rica, bosque secundario = 90; pastura degradada = 4; plantación forestal de teca = 92; pastura mejorada con baja densidad de árboles = 1; pastura natural con alta densidad de árboles = 7; y b) Nicaragua, banco forrajero de gramínea = 6; bosque secundario = 23; pastura degradada = 9; pastura mejorada alta densidad de árboles = 9; pastura natural baja densidad de árboles = 11; vegetación secundaria joven = 17.

### 3. HIPÓTESIS

- 1) Especies arbóreas y arbustivas en el Matorral Espinoso Tamaulipeco presentan una diferencia en el contenido de carbono total en la biomasa aérea base peso seco.
  
- 2) Los componentes: tallo, ramas, ramillas, hojas y corteza de las especies arbóreas y arbustivas en el Matorral Espinoso Tamaulipeco presentan una diferencia en el contenido de carbono total en la biomasa aérea base peso seco.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Generar coeficientes de contenido de carbono total por unidad de biomasa base peso seco de las especies representativas de áreas con diferente uso histórico en el Matorral Espinoso Tamaulipeco, que permitan estimar el carbono almacenado en este tipo de ecosistema.

Áreas de estudio:

- 1) Agricultura tradicional
- 2) Ganadería extensiva
- 3) Matarasa

### **4.2 Objetivos específicos**

→ Determinar un porcentaje promedio del contenido de carbono total en la biomasa aérea base peso seco para cada uno de los componentes (tallo, ramas, ramillas, hojas y corteza) de las especies.

→ Determinar un porcentaje promedio del contenido de carbono total en la biomasa aérea base peso seco para cada una de las especies.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Localización

El estudio se realizó en la reserva ecológica del Matorral - Escuela de la Facultad de Ciencias Forestales UANL y en 2 áreas contiguas, con vegetación secundaria y condiciones similares (clima, suelo, altitud, pendiente). Éstas se encuentran en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco de la Planicie Costera del Golfo en el municipio de Linares, N.L situado entre las coordenadas 25° 09' y 24° 33' de la latitud norte, y 99° 54' y 99° 07' de longitud oeste, abarcando una superficie total de 2445.3 km<sup>2</sup>, y una altitud de 350 msnm (Estrada y Marroquín, 1988).

Las áreas de estudio fueron (Figura 1):

1) Agricultura tradicional

Área desmontada con maquinaria para la práctica agrícola, cultivo de maíz y sorgo de temporal, durante un periodo aproximado de 5 años. Este sitio tiene 20 años de no tener aprovechamiento.

2) Ganadería extensiva

Superficie influenciada por la extracción selectiva de sus componentes para uso de leña, estantes y madera de construcción, además de la acción de ramoneo y pastoreo del ganado. Desde hace 25 años es reserva natural de la Facultad de Ciencias Forestales, la cual tiene como objetivo la enseñanza e investigación.

3) Matarasa

Superficie desmontada hace 24 años (Septiembre 1984) con fines de investigación (Foroughbakhch y Heiseke, 1990) utilizando la técnica del cadeneo. No se realizó ninguna actividad agrosilvopecuaria.

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

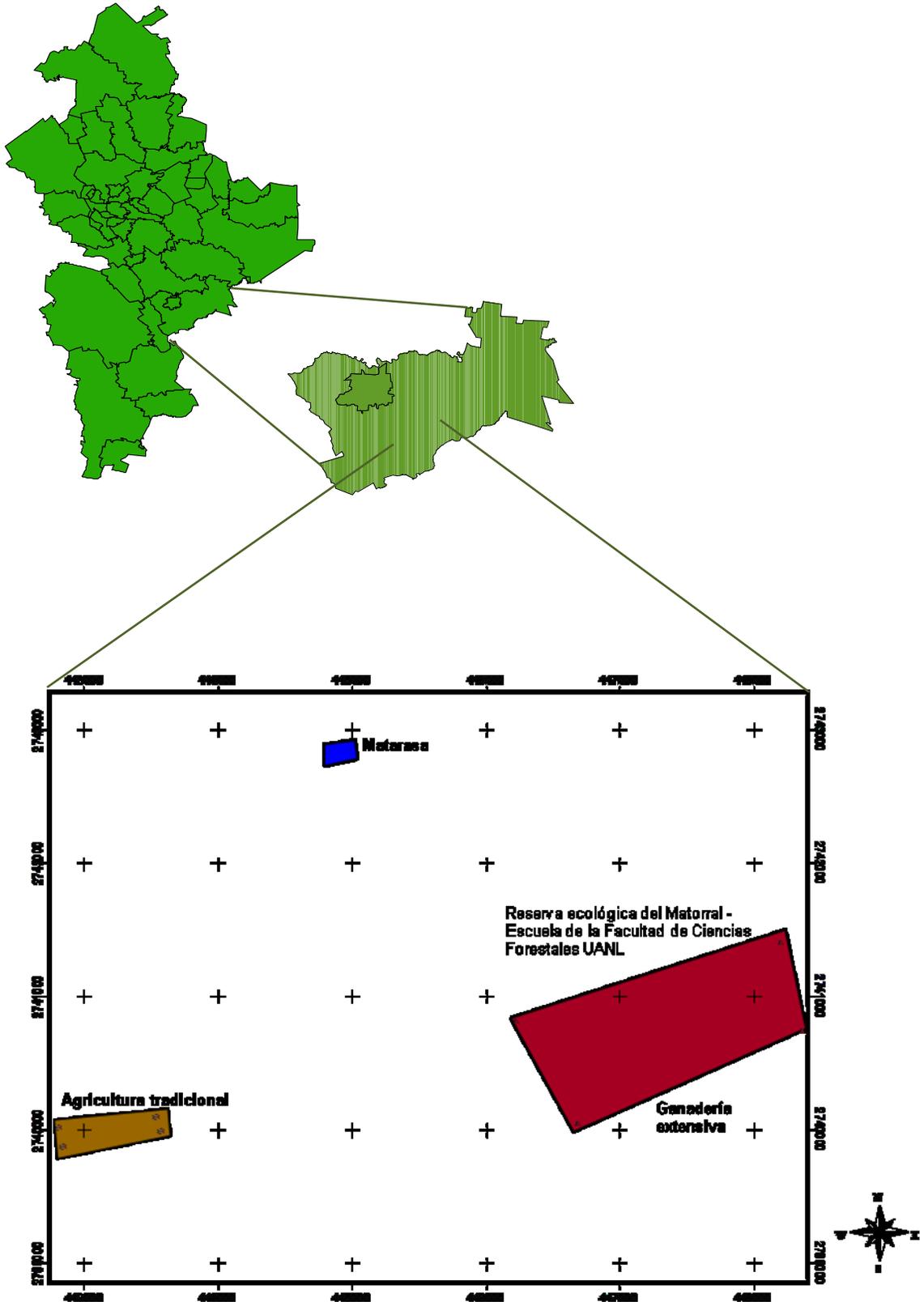


Figura 1. Localización de las áreas de estudio

## 5.2 Clima

El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973) es (A) C (x') (w") a (e) correspondiente a un clima extremoso semi-calido - sub húmedo básicamente debido a la posición geográfica en la zona subtropical de altas presiones, con influencia de los vientos alisios húmedos y vientos fríos del norte durante el invierno (Woerner, 1991). La precipitación pluvial oscila entre los 400 y 1850 mm/año, con un valor promedio (1935-1988) de 805 mm con una desviación estándar de 260 mm (Navar *et al.*, 1994). El promedio anual de la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%. Dicha precipitación se concentra en dos períodos de lluvias estivales (marzo-junio y septiembre-octubre) con un promedio de 560 mm totales. Un período menos lluvioso y extremadamente cálido, llamado canícula o sequía de medio verano, se presenta con frecuencia en los meses de julio y agosto. La mayor pluviosidad acontece en el mes de septiembre con un promedio de 170 mm/mes y la menor se presenta en los meses de diciembre y enero con valores de 20-25 mm/mes. El promedio anual de la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%.

La temperatura promedio anual es de 22.4° C con temperaturas mayores a las 40° C en verano e inferiores a 0° C en invierno, con una oscilación diarias cercana a los 15° C en invierno. El clima de la mayor parte de la región es extremoso debido básicamente a la posición geográfica en la zona subtropical de altas presiones, con influencia de los vientos alisios húmedos y vientos fríos del norte durante el invierno (Woerner, 1991).

## 5.3 Geología

El material parental de los suelos de la región se conforma principalmente por lutitas originadas en el Cretácico Superior desplazadas y perturbadas por

movimientos aluviales y coluviales del Pleistoceno y Holoceno, encontrando en la base de los lomeríos gravas de caliche con débil cementación, en la parte media de las mismas, se encuentran lutitas del Cretácico Superior y en las partes altas de las mismas gravas con caliche del Pleistoceno con cementación fuerte (Medina, 1995).

#### **5.4 Suelos**

Los suelos de la zona corresponden a un típico vertisol de origen aluvio-coluvial. Este tipo de suelos son arcillosos, medianamente profundos (25-50cm) o muy profundos (> 50cm), con drenaje interno medianamente lento y una pedregosidad de 2 a 25%; rocosidad de 0-10% y se encuentran fuertemente agrietados en estado seco; color oscuro en la parte más plana y rendzina de origen lutita calichosa de profundidad mediana en los lomeríos; estructura prismática y caracterizados por una uniformidad de color y estructura (Woerner, 1991; Medina, 1995). Ambos tipos de suelo se caracterizan por el alto contenido de arcilla y relativo bajo contenido en materia orgánica, con pH moderadamente alcalino (6.8-7.6). Existen deficiencias en nutrientes de nitrógeno y potasio (Foroughbakhch y Heiseke, 1990). Presentan en ocasiones un estrato de induración (caliche) de textura arcillosa o franco-arenosa. Contienen más de 30% de arcilla a lo largo del perfil, compuesta principalmente de minerales arcillosos expandibles del tipo mectita, la cual provoca una capacidad de intercambio catiónico muy elevada con una capacidad muy alta de almacenamiento de nutrientes disponibles como potasio, calcio, magnesio y ácido nítrico. Se componen de cuatro a cinco diferentes unidades equivalentes a horizontes según su estado de evolución pedogenética.

#### **5.5 Vegetación**

El matorral espinoso tamaulipeco es el extremo leñoso del matorral xerófilo que cubre las regiones semiáridas subtropicales. Esta vegetación es nativa de la provincia biótica Tamaulipeca del Reino Biogeográfico Neártico; está constituida

por comunidades de matorral y selvas bajas diversas, espinosas y frecuentemente densas (Rodríguez, 1994).

Este tipo de vegetación cubre aproximadamente 200,000 km<sup>2</sup> del noreste de México y el sur de Texas, extendiéndose al Norte hasta el altiplano Edwards (Edwards Plateau) en Texas (Diamond *et al.*, 1987) y al Sur hasta Llera, Tamaulipas y los valles circundantes hacia la estación Zaragoza; al Sureste bordea las estribaciones de la Sierra de Tamaulipas hasta cerca de Aldama y al Oeste limita con la base de la Sierra Madre Oriental y centro de Coahuila (González, 1985). En el ámbito regional esta vegetación abarca el 80% del territorio de Nuevo León y Tamaulipas.

El matorral espinoso tamaulipeco se compone de 60-80 especies arbustivas y arbóreas, presentando una amplia variación florística, con una alta diversidad en estructura, asociaciones, densidad y altura (Foroughbackhch y Peñaloza, 1988); y cuenta con tres tipos de matorral: 1) matorral alto subinermes; 2) matorral mediano subinermes; 3) matorral alto espinoso con espinas laterales (Treviño, 1997); los cuales se presentan particularmente en áreas planas y zonas de escasos lomeríos; están caracterizados por especies arbustivas y arbóreas principalmente, espinosas o inermes y por lo general micrófilas, entre las que destacan por abundancia y cobertura: mezquite (*Prosopis laevigata*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*), chaparro amargoso (*Castella texana*), granjeno (*Celtis pallida*), palo verde (*Cercidium macrum*), anacahuita (*Cordia boissieri*), guayacán (*Porlieria angustifolia*), coyotillo (*Karwinskia humboldtiana*), huizache (*Acacia farnesiana*), tenaza (*Pithecellobium pallens*), colima (*Zanthoxylum fagara*), huajillo (*Acacia berlandieri*), coma (*Bumelia celastrina*), yuca (*Yucca filifera*), entre otras (Villegas, 1972; COTECOCA-SARH, 1973; Estrada y Marroquín, 1988; Foroughbakhch & Peñaloza, 1988; Villalón, 1989; Alanís *et al.*, 1996). A continuación se hace una descripción de las especies del estudio, descritas por los autores.

*Acacia farnesiana* (L.) Willd.

Familia: Leguminosae

Nombre común: Huizache

Arbusto o árbol pequeño de 2-4 m de altura; ramificaciones armadas con espinas rectas, en pares, que representan las estipulas de las hojas modificadas. Las hojas son de 3-8 cm de largo; pinas de dos a seis pares; folíolos numerosos linear-oblongos de 3-5 mm de largo. Flores en cabezuelas amarillas globosas de 1 cm de diámetro aproximadamente y muy aromáticas; pedúnculos delgados de 1-4 cm de largo, pubescentes. El fruto es una vaina de 3-8 cm de longitud, casi cilíndrica, adelgazándose en ambos extremos, negruzca y lisa con las vainas coriáceas; semillas en dos hileras. Posee usos muy variados. Es utilizada como ornamental debido a sus rajantes flores. De la corteza y frutos se obtienen taninos y los exudados gomosos del tronco son usados para obtener pegamento. El follaje posee gran valor forrajero, además de que se le atribuyen propiedades medicinales.

*Acacia rigidula* Benth.

Familia: Leguminosae

Nombre común: Chaparro prieto, Gavia.

Arbusto de 1-3 m de altura, de corteza grisácea con ramas muy numerosas y cortas; espinas estipulares en pares, rectas y grisáceas. Hojas con un par de pinas y con pocos pares de folíolos de 6-15 mm de largo cada uno, glabros de color verde oscuro, lustrosos, de ápice redondeado, asimétricos y de forma obovada. Flores blanquecinas, en espigas de 1 cm de grueso aproximadamente y de dos a seis veces más largas que anchas. El fruto es una vaina curva, redondeada, de 68 cm de largo y menos de 7 mm de ancho, ligeramente constreñida entre las semillas. El follaje es consumido por el ganado y la madera utilizada como leña.

*Cercidium macrum* I. M. Johnst.

Familia: Leguminosae

Nombre común: Palo verde

Árbol pequeño de 2-4 m de altura con copa algo densa; ramas y corteza de color verde y ramificaciones en zigzag, armadas en cada nudo con una espina corta y casi recta. Hojas de uno a tres pares de pinas y pocos folíolos de 4-6 mm de longitud aproximadamente. Flores de 1 cm de diámetro, color amarillo brillante con sépalos y pétalos en número de cinco; el ovario y la base de la vaina glabra o casi glabra. El fruto es una vaina de 2-6 cm de longitud, con varias semillas. El follaje y los brotes tiernos son consumidos por el ganado. La madera posee poca importancia.

*Cordia boissieri* A. DC.

Familia: Boraginaceae

Nombre común: Anacahuita

Arbusto o árbol pequeño hasta de 8 m de altura y con un fuste de hasta 20 cm de diámetro. Hojas gruesas de hasta 20 cm de largo y 15 cm de ancho; el pecíolo es de hasta 4 cm de largo. Inflorescencia en cimbras de seis a ocho flores; corola en forma de embudo. Fruto ovoide de 2-3 cm de largo ligeramente café brillante, de pulpa dulce. Su madera es utilizada para la construcción de corrales. El follaje y el fruto son consumidos por el ganado. Las hojas, flores y tallos se utilizan en medicina popular contra infecciones bronquiales y reumatismo. También es usado con fines ornamentales.

*Diospyros texana* Scheele.

Familia: Ebenaceae

Nombre común: Chapote

Arbusto o árbol pequeño hasta de 10 m de altura; la madera es dura y de color oscuro; la corteza es lisa de color gris-rojizo y delgada, separándose del tallo y ramas. Las hojas de hasta 5 cm de longitud. La corola es blanca, de 8-12 mm de longitud. El fruto es de color negro en la madurez, globoso, de 2 cm de diámetro aproximadamente, con 3-8 semillas. Se utiliza en trabajos de ebanistería debido a la fineza de su madera. El fruto es dulce y comestible en estado maduro, pero astringente en estado inmaduro.

*Eysenhardtia texana* Scheele.

Familia: Leguminosae

Nombre común: Vara dulce

Arbusto inerme de abundantes ramas delgadas, hasta de 3 m de altura. Las hojas son alternas, imparipinadas con puntos glandulosos de 3-9 cm de longitud; de 1547 folíolos por hoja de aproximadamente 5-12 mm de largo, oblongos y finamente puberulentos. Flores en racimos de 3-11 cm de longitud; pétalos de 4-5 mm de largo de color blanco o amarillo pálido. El fruto es una vaina de 7-10 mm de longitud y de 2-2.5 mm de ancho, curva, con puntos glandulosos y con una semilla. Dentro de sus usos, el follaje es consumido por el ganado. Las flores producen abundante néctar y en medicina tradicional se le utiliza como diurético y preventivo de enfermedades de vía urinaria.

*Forestiera angustifolia* Torr.

Familia: Oleaceae

Nombre común: Panalero

Arbusto redondeado densamente ramificado, de 1.5 a 4.5 m de altura. Hojas lineares de 1-3 cm de largo y 3-6 mm de ancho, de color verde brillante. Las

flores nacen al comenzar la primavera; carecen de corola. El fruto es de color negro, aproximadamente de 6 mm de largo. Muy comestible, pero poco palatable.

*Havardia pallens* Benth.

Familia: Leguminosae

Nombre común: Tenaza

Arbusto usualmente de 3-4 m de altura; follaje poco denso y de color verde pálido; corteza pálida grisácea y algo lisa. Folíolos de 7-20 por pina; flores en cabezas esféricas, usualmente de 1 cm de diámetro. El fruto es una legumbre linear de paredes delgadas y margen redondeado, de 10 cm de largo y 1 cm de ancho aproximadamente; la vaina es más gruesa donde se encuentran las semillas negruzcas, lo que origina que la vaina se pandee en el sitio de cada semilla. Su madera es utilizada para fabricación de mangos para herramienta y de silla y otros objetos. Planta de importante valor forrajero.

*Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg.

Familia: Rutaceae

Nombre común: Colima

Arbustos con numerosas espinas curvas a lo largo de las ramas. Las hojas son glandulares, alternadas, aromáticas, de 2-9 cm de largo; de 5-13 folíolos de 7-20 mm de largo. Inflorescencias laterales, inconspícuas; flores de color verde amarillento. El fruto es un folículo seco, usualmente con una semilla negra y lustrosa. La madera es de color amarillo y muy dura. Se utiliza como condimento debido al aroma de la corteza y de las hojas. También actúa como estimulante arterial y nervioso.

## 5.6 Metodología de campo

En los siguientes párrafos se describen los procedimientos para la determinación de coeficientes de contenido de carbono total por unidad de biomasa base peso seco.

### 5.6.1 Selección de las especies

Se seleccionaron 5 especies arbóreas y arbustivas por sitio, de acuerdo al estudio de Alanís (2006), que determinó como las representativas, de acuerdo a la abundancia, dominancia y frecuencia; considerando estos criterios, las especies seleccionadas para los sitios fueron:

Tabla 1. Especies seleccionadas por sitio.

<b>Agricultura tradicional</b>	<b>Ganadería extensiva</b>	<b>Matarasa</b>
<i>Cercidium macrum</i> (palo verde)	<i>Diospyros texana</i> (chapote 1)	<i>Diospyros texana</i> (chapote 2)
<i>Acacia rigidula</i> (gavia 1)	<i>Acacia rigidula</i> (gavia 2)	<i>Acacia rigidula</i> (gavia 3)
<i>Eysenhardtia texana</i> (vara dulce 1)	<i>Eysenhardtia texana</i> (vara dulce 2)	<i>Zanthoxylum fagara</i> (colima)
<i>Cordia boissieri</i> (anacahuita)	<i>Havardia pallens</i> (tenaza 1)	<i>Havardia pallens</i> (tenaza 2)
<i>Acacia farnesiana</i> (huizache)	<i>Forestiera angustifolia</i> (panalero)	<i>Acacia schaffneri</i> (huizache chino)

### **5.6.2 Diseño de muestreo y tamaño de la muestra**

Para el presente trabajo no se estableció un diseño de muestreo, ya que las evaluaciones se realizaron en forma selectiva, es decir, se escogieron 3 individuos de cada especie por sitio, de diferentes dimensiones dasométricas. Lo anterior permitió obtener la información necesaria sin provocar impactos ecológicos adicionales a los ecosistemas del área.

Es importante destacar que el presente trabajo se realizó de forma paralela a trabajos de evaluación de la biomasa aérea de dichas especies y que el muestreo de estos individuos se realizó de forma selectiva, considerando aspectos de no variación de exposición y libres de competencia por luz.

### **5.6.3 Colecta de las muestras**

Una vez elegidos los individuos se realizaron dos tipos de mediciones. Las primeras con el individuo en pie, y las segundas una vez derribado. Previo al derribo de los individuos se registro para cada árbol:

- Número del árbol (n)
- Especie (s)
- Diámetro a 0.1 m (d)
- Altura (h)

Una vez identificado el árbol o arbusto a procesar, se señaló la zona de caída de este, complementariamente se preparó, despejando de arbustos menores y/o herbáceas que dificultaban el trabajo y procesamiento posterior. Se determinó la zona de procesado con el fin de habilitarla para el trabajo.

A continuación se detalla los pasos realizados:

- a) Derribo del individuo, el corte se hizo lo más cerca posible del suelo.
- b) Desrame y troceo, los árboles y arbustos se dividieron en sus componentes: fuste, ramas, ramillas (< 1 cm diámetro) y hojas (Figura 2).
- c) Colecta de muestras:

Fuste: Se seleccionaron las muestras de madera de la sección radial a 0.10 m, se empaquetó en una bolsa de papel y se identificó especie, número y sitio, esta nomenclatura se utilizó para todas las muestras.

Ramas: Se tomaron muestras a partir de 1 cm de diámetro en los cuatro puntos cardinales de la copa.

Ramillas: Se tomaron muestras menores de 1 cm de diámetro en los cuatro puntos cardinales de la copa.

Hojas: Se tomó muestra en cada uno de los cuatro puntos cardinales de la copa.

Corteza: Se colectó una porción en cada lugar que se tomó la muestra de madera del fuste.

Por otra parte es importante destacar que la cantidad máxima de muestra requerida en peso seco por componente, es de 180 mg, dado que el equipo con el que se realizó el análisis, requiere de una cantidad de muestra pequeña para la determinación del contenido de CT (90 mg máximo de muestra por análisis).

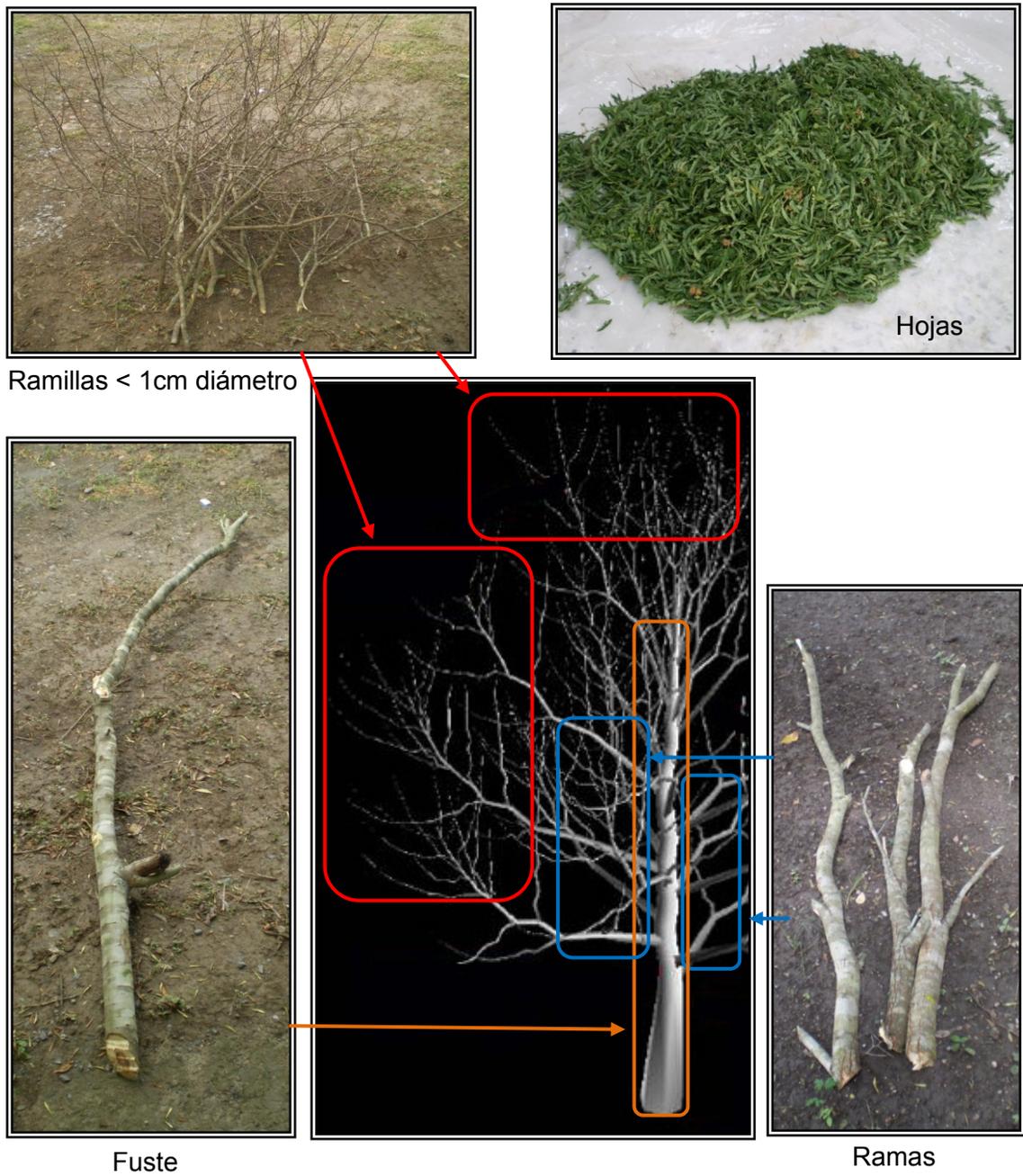


Figura 2. Componentes de árboles y arbustos de la biomasa aérea (fuste, ramas, ramillas y hojas).

## 5.7 Metodología de laboratorio

Colectadas las muestras en campo se procedió a pesar cada una de estas en el laboratorio y posteriormente se colocaron en la estufa de secado a 105 °C de temperatura, hasta obtener un peso constante. Cada muestra se molió en un molino pulverizador, depositándolas en bolsas de plástico previamente identificadas.

El contenido de Carbono Total (CT) se determinó con un equipo analítico denominado Solids TOC Analyzer de O-I-Analytical; éste determina los contenidos de CT en muestras sólidas mediante combustión completa, a una temperatura de 900 °C, los gases producto de la combustión son medidos a través de un detector de infrarrojo no dispersivo que contabiliza las moléculas de carbono contenidas en estos gases. El rango de detección del contenido de CT en las muestras va de 50 µg C a 30 mg C con una precisión de ± 15 µg C.

Considerando este aspecto técnico del equipo, se previó determinar un peso de muestra de 30 mg para cada análisis, dado que, en función de los resultados esperados (45 a 50 % del peso seco de la muestra es CT) y con base a la literatura consultada (IPCC, 1996; Brown, 1997; Houghton *et al.*, 1999; Gayoso y Guerra, 2005), y el rango máximo de detección (30 mg), no sería correcto introducir una muestra con peso seco mayor a 60 mg.

Antes de iniciar el análisis de las muestras se procedió a calibrar el equipo analítico con un estándar de sacarosa al 30 % con cuatro volúmenes de la solución y un testigo (0, 5, 10, 15 y 20 µL). Cada uno de los volúmenes y el testigo se analizó con dos repeticiones, obteniendo un  $R^2$  en la recta de calibración de 0.9989 (Figura 3). Los resultados del equipo son confiables al obtener una calibración a partir de  $R^2 = 0.9980$ , dichos resultados son

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

recomendados por Dennis *et al.*, (2001), responsables de la metodología y calibración del equipo Solids TOC Analyzer.

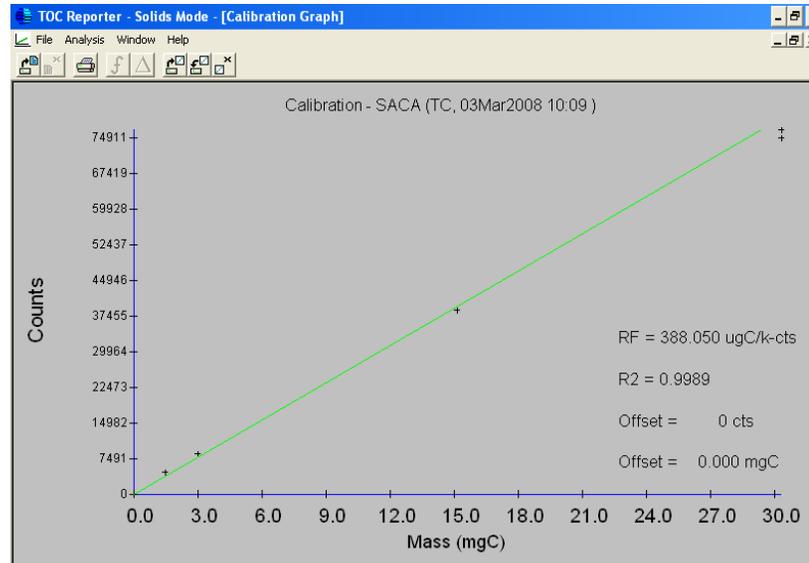


Figura 3. Gráfica de la recta de calibración con el estándar de sacarosa al 30 %, con un  $R^2$  de 0.9989.

Una vez calibrado el equipo se procedió a realizar el análisis de las muestras de cada uno de los componentes aéreos de las especies, realizando tres repeticiones en cada uno de los análisis. En los primeros resultados se detecto un poco bajo el contenido de CT, una de nuestras teorías era que las muestras habían adquirido humedad durante el almacenamiento en las bolsas de plástico, por lo cual se hicieron pruebas donde las muestras antes de someterlas al análisis se pusieron en la estufa de secado a 75 °C durante una hora, se obtuvieron valores mayores (3 puntos porcentuales), se llego a la conclusión de que era cierta nuestra teoría, entonces se implemento este paso para todas las muestras. En el Anexo se encuentra detalladamente los pasos para la utilización del aparato Solids TOC Analyzer

### 5.8 Análisis estadístico

Un experimento factorial es aquel en el que el conjunto de tratamientos consisten en todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores (Steel y Torrie, 1988). La hipótesis que se somete a la prueba de significancia

cuando los tratamientos están dispuestos factorialmente es, que no hay interacción entre los factores, de tal manera que una interacción significativa es aquella que es lo suficientemente grande como para que se pueda explicar con base en el azar y la hipótesis de que no hay interacción; y en la interacción no significativa, se puede concluir que los factores en consideración son independientes entre sí (Steel y Torrie, 1988).

El modelo para un experimento factorial de 2 x 2 es (Steel y Torrie, 1988):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable dependiente

$\mu$  = Media poblacional

$\alpha_i$  = Es el efecto producido por el i – ésimo nivel del i - ésimo tratamiento

$\beta_j$  = Es el efecto producido por el j – ésimo nivel del j - ésimo tratamiento

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Interacción del i – ésimo nivel con el j - ésimo nivel

$\varepsilon_{ijk}$  = Error

El análisis de los datos de laboratorio se realizó mediante el programa estadístico Statistica versión 6. Para determinar si existen diferencias significativas entre los componentes de la biomasa aérea de las diferentes especies y determinar la interacción entre los tratamientos, se determinaron dos factores (tratamientos); especies y componentes, dentro del factor especies 15 niveles (Anacahuita, Huizache, Palo verde, Gavia1, Vara dulce1, Gavia2, Panalero, Tenaza1, Chapote1, Vara dulce2, Chapote2, Gavia3, Hui Chino, Colima y Tenaza2) y para el factor componente cinco niveles (fuste, ramas, ramillas, hojas y corteza); de esta manera se agruparon los datos bajo un diseño experimental factorial 15 x 5, teniéndose así 75 interacciones de tratamientos.

De esta manera para determinar si existen diferencias significativas en el CT

entre los componentes de la biomasa aérea de las diferentes especies y si éste es independiente o no de las especies se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  para el diseño factorial  $15 \times 5$ .

Si resultaba significancia en la prueba (para especies y para los componentes), se realizaba un ANOVA (con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ ) completamente aleatoria para cada tratamiento (especies y componentes).

Una vez realizado el ANOVA para cada tratamiento y si hay significancia en esta prueba, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

Por otra parte se realizó un ANOVA factorial para determinar si existen diferencias significativas entre los componentes de las especies en los diferentes sitios, donde se determinaron dos factores; el factor sitio, con tres niveles (agricultura, ganadería y matarasa) y otro factor como los componentes de la biomasa aérea de las especies, con cinco niveles (corteza, hojas, ramas, ramillas y fuste), de tal manera que hay 15 interacciones ( $3 \times 5$ ).

Realizado el ANOVA factorial y si se encontraba significancia entre los diferentes niveles de los factores (componentes de las de especies y sitios), se procedió a realizar un ANOVA completamente aleatorio para componentes, estableciéndose como tratamientos los 15 componentes de los tres sitios (cinco para agricultura, cinco para ganadería y cinco para matarasa). Si resultaba significancia en la prueba, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

Para determinar si existen diferencias significativas entre los componentes de la biomasa aérea dentro de cada especie, se realizó un ANOVA (con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ ) bajo el diseño completamente aleatorio en cada una de éstas, donde se determino como tratamiento a los componentes. En los casos en los que resulto significancia en la prueba anterior, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total se analizaron 675 submuestras de 225 muestras de 45 individuos de 10 especies, la especie *Acacia rigidula* fue la única que se presentó en los tres sitios, *Havardía pallens*, *Diospyros texana* y *Eysenhardtia texana* en dos sitios, las demás especies en un solo sitio. A continuación se presentan los resultados obtenidos de Carbono Total (%) por especie, componente, por componente de cada especie y de las interacciones entre estos.

### 6.1 Carbono Total (%) entre especies y entre componentes

En la prueba de significancia (ANOVA factorial) de la interacción entre los diferentes niveles de los factores componentes y especies, arrojó que existe una interacción altamente significativa ( $Pr > 3.31^{-12}$ ) entre éstos; con lo que se determina que ambos factores no son independientes, es decir, que el contenido de Carbono Total en los componentes de la biomasa aérea depende de la especie (Figura 7).

### 6.2 Carbono Total (%) entre las especies

Con el análisis factorial se determinó que sí existen diferencias altamente significativas entre el CT de las diferentes especies ( $Pr > 0.000$ ); por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza bajo el diseño completamente aleatorio para CT por especie, donde se determinó que no existen diferencias significativas entre el CT de las diferentes especies ( $Pr < 0.0564$ ), las especies que obtuvieron el porcentaje menor fue la Anacahuita, Huizache y Palo verde en el sitio de agricultura con 44.25, 44.52 y 44.73 % respectivamente, el Panalero con 47.08 el porcentaje mayor en el sitio de ganadería extensiva (Tabla 2). En la figura 4 se muestran los porcentajes promedios de Carbono Total por especie, donde la media general es de 45.52 %. Cabe mencionar que el contenido de CT calculado por especie, es simple y no ponderado; es

necesario conocer la distribución de la biomasa en los diferentes componentes del mismo, siendo el fuste el que aporta la mayor cantidad de biomasa y el cual lleva al promedio ponderado por sobre el promedio simple (Gayoso y Guerra, 2005).

Tabla 2. Porcentajes promedios de CT (%) por especie (SD = Desviación estándar de la muestra).

<b>Especie</b>	<b>Sitio</b>	<b>Media y SD %</b>
Anacahuita	Agricultura tradicional	44.25 ± 1.52
Huizache	Agricultura tradicional	44.52 ± 1.37
Palo verde	Agricultura tradicional	44.73 ± 1.52
Gavia2	Ganadería extensiva	44.98 ± 1.38
Vara dulce1	Agricultura tradicional	45.07 ± 0.94
Chapote2	Matarasa	45.22 ± 1.24
Gavia3	Matarasa	45.33 ± 1.38
Gavia1	Agricultura tradicional	45.35 ± 1.30
Hui Chino	Matarasa	45.49 ± 1.42
Chapote1	Ganadería extensiva	45.51 ± 0.79
Vara dulce2	Ganadería extensiva	46.06 ± 1.37
Colima	Matarasa	46.25 ± 1.52
Tenaza1	Ganadería extensiva	46.44 ± 1.02
Tenaza2	Matarasa	46.49 ± 1.36
Panalero	Ganadería extensiva	47.08 ± 1.27

El contenido de carbono de la biomasa aérea por especie, resultó en todos los casos inferior al valor por defecto sugerido por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (1996), 50 %, de igual modo a valores reportados por otros autores, como: Francis (2000), para 20 especies de bosques secundarios en estado de latizal en Costa Rica señala un rango de 48.9 – 54.9 %, Peri *et al.*, (2004), para un bosque de ñire *Nothofagus pumilio* en Argentina, obtiene un promedio de 48.9 % y Díaz (2008), con 47.98 – 51.17 %, para 4 especies de latifoliadas en un bosque mixto en la Sierra Madre Oriental en México. Otros autores citan valores similares a los encontrados en este estudio, Lin *et al.*, (2002), con una variabilidad de 45.69 a 51.84 % para 47 especies maderables (24 especies nativas y 23 especies exóticas) de la provincia Silin en el NE de China, a su vez Gayoso y Guerra (2005), para 16 especies de Bosques nativos

de Chile, de 34.86 – 48.31 % y Petre *et al.*, (2006), para *Acacia caven*, *Prosopis nigra* y *Prosopis affinis* porcentajes entre 47.2 – 47.83. Por otra parte, Cubero y Rojas (2000), para 20 especies de bosques secundarios en estado de latizal en Costa Rica, encontraron porcentajes de contenido de carbono entre 32 y 40%, de igual manera, Torres (2002), en un sotobosque de bosques del tipo forestal siempreverde en Chile, de 37.24 – 41.64 %, estos valores son menores a los encontrados en este estudio (Tabla 3)

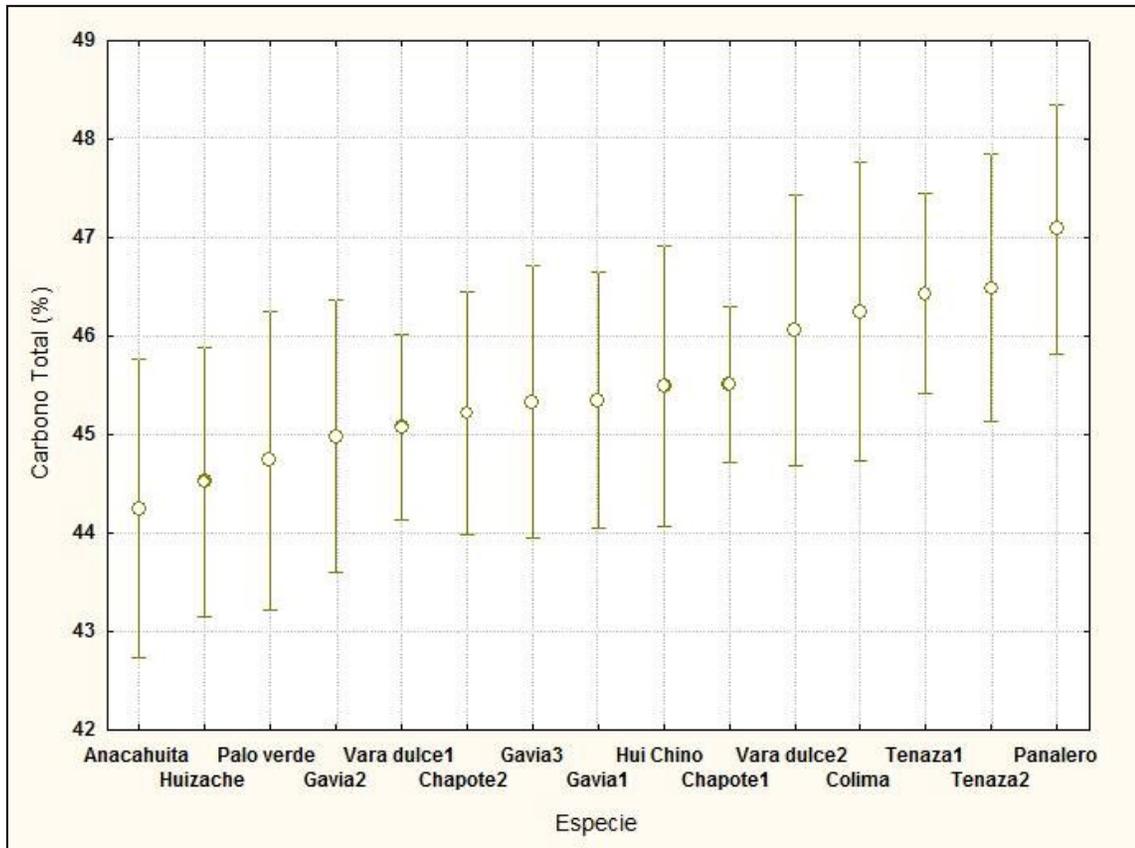


Figura 4. Porcentaje promedio de Carbono Total por especie. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Tabla 3. Variabilidades de porcentajes promedios de Contenido de Carbono reportados para diferentes especies de latifoliadas.

<b>Autor</b>	<b>País</b>	<b>Tipo de especies</b>	<b>Método</b>	<b>Contenido de carbono (%), (latifoliadas)</b>
IPCC, 1996		Todas		50
Cubero y Rojas, 1999	Costa Rica	Plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> , <i>Tectona grandis</i> y <i>Bombacopsis quinata</i>	Calorimetría	32 – 40
Francis, 2000	Puerto Rico	20 especies de bosques secundarios en estado de latizal	Analizador LECO	48.9 – 54.9
Torres, 2002	Chile	Sotobosque en bosques del tipo forestal siempreverde	Colorimétrico	37.24 – 41.64
Lin <i>et al.</i> , 2002	Taiwan	47 especies maderables (24 especies nativas y 23 especies exóticas)	Analizador Vario CHNS/O	45.69 – 51.84
Peri <i>et al.</i> , 2004	Argentina	Bosque de ñire <i>Nothofagus pumilio</i>	Análisis químicos	48.9
Gayoso y Guerra, 2005	Chile	16 especies de Bosques nativos	Walkey y Black	34.86 – 48.31
Petre <i>et al.</i> , 2006	Argentina	<i>Acacia caven</i> , <i>Prosopis nigra</i> y <i>Prosopis affinis</i>	Analizador LECO	47.2 – 47.83
Tomas y Malczewski, 2007	China	14 especies de árboles nativos	Analizador ECS 4010 CN	48.36 – 50.96
Díaz, 2008	México	4 especies de Latifoliadas en Bosque Mixtos	Analizador Solids TOC	47.98 – 51.17
En este estudio	México	10 especies de Latifoliadas	Analizador Solids TOC	44.25 – 47.08

### 6.3 Carbono Total (%) por Componente de todas las especies

En la figura 5, se presentan los porcentajes promedios por componente de todas las especies, en el ANOVA se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los componentes ( $Pr > 0.000$ ). La prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) determina que el componente corteza es estadísticamente diferente y con un valor inferior (42.08 %) al CT de los otros componentes (Tabla 4), los componentes tallo, ramas y ramillas son estadísticamente iguales formando un grupo intermedio; el componente hojas, es estadísticamente diferente a los demás componentes, ya que presenta el contenido de CT más alto de todos los componentes con un valor promedio de 48.14 %.

Tabla 4. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de todas las especies (SD = Desviación estándar de la muestra).

Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Corteza	42.08 ± 0.42	a
Ramillas	45.70 ± 0.39	b
Ramas	45.73 ± 0.35	b
Tallo	45.93 ± 0.37	b
Hojas	48.14 ± 0.60	c

El contenido de carbono promedio de los componentes tallo, ramas, ramillas y corteza de las especies de este estudio, son más bajos que los determinados por Francis (2000), Petre *et al.*, (2006) y Díaz (2008), a su vez son similares a los reportados por Gayoso y Guerra (2005), como se observa en la tabla 5. Los porcentajes 51.67 y 51.35 fueron los resultados de Francis (2000) y Díaz (2008) respectivamente, para el componente hojas, siendo estos mayores a los de este estudio, por su parte Gayoso y Guerra (2005), señalan un valor inferior de 43.52 % (Tabla 5).

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

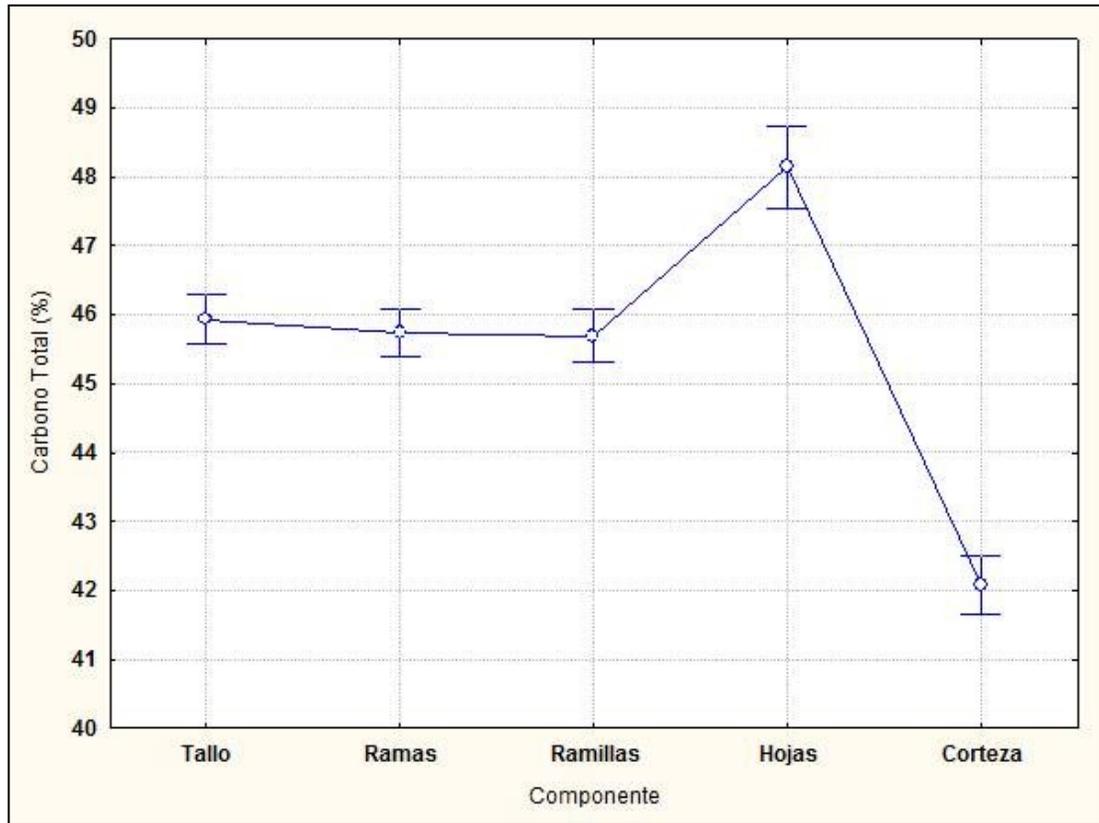


Figura 5. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de todas las especies. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

Tabla 5. Porcentajes promedios de Contenido de Carbono reportados para los componentes de diferentes especies de latifoliadas.

Autor	Componente				
	Tallo Contenido de Carbono (%)	Ramas Contenido de Carbono (%)	Ramillas Contenido de Carbono (%)	Hojas Contenido de Carbono (%)	Corteza Contenido de Carbono (%)
Francis, 2000	52.07	52.07	52.07	51.67	49.63
Gayoso y Guerra, 2005	44.38	43.17	43.17	43.35	43.52
Petre <i>et</i> <i>al.</i> , 2006	47.81	47.40	47.19	—	47.56
Díaz, 2008	49.54	48.74	48.74	51.35	45.75
En este estudio	45.7	45.73	45.93	48.14	42.08

#### **6.4 Carbono Total (%) por Componente de la biomasa aérea por sitios**

El ANOVA bajo el diseño experimental completamente aleatorio (con un nivel de significancia de  $\alpha= 0.05$ ), donde se establecieron 15 tratamientos (cinco para agricultura, cinco para ganadería y cinco para matarasa), se estimó que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 0.00$ ) entre los componentes de la biomasa aérea de los sitios (agricultura tradicional, ganadería extensiva y matarasa). Por otra parte el análisis de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) determinó que el componente corteza de los tres sitios es estadísticamente diferente con valores promedios de contenido de CT (%) inferiores al resto de los componentes, variaron de 41.17 a 42.8 %, mientras que los componentes tallo, ramas y ramillas de los tres sitios son estadísticamente iguales, con valores que van de 45.01 a 46.38 por ciento, a su vez el componente hojas del sitio Agricultura Tradicional es estadísticamente igual al grupo anterior con excepción al componente ramillas de este mismo sitio; las hojas de los sitios Matarasa y Ganadería extensiva son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes (con valores superiores) estadísticamente a los demás componentes de los diferentes sitios, el rango de valores de este último grupo va de 48.51 a 49.2 % (Tabla 6).

En la figura 6 se puede observar que los componentes en el sitio de Ganadería extensiva presentan los valores mayores a excepción de las hojas, en el sitio de Matarasa los componentes ramas, ramillas y corteza muestran los valores intermedios, el tallo el valor menor, las hojas el mayor en respecto a los tres sitios, los componentes ramas, ramillas, hojas y corteza en el sitio de Agricultura tradicional presentan los valores menores.

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Tabla 6. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente por sitio (SD = Desviación estándar de la muestra).

Componente	Sitio	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Corteza	Agricultura tradicional	41.17 ± 0.80	a
Corteza	Matarasa	42.28 ± 0.70	a b
Corteza	Ganadería extensiva	42.80 ± 0.55	b
Ramillas	Agricultura tradicional	45.01 ± 0.46	c
Ramas	Agricultura tradicional	45.19 ± 0.70	c d
Tallo	Matarasa	45.58 ± 0.66	c d
Ramillas	Matarasa	45.82 ± 0.64	c d
Tallo	Agricultura tradicional	45.84 ± 0.51	c d
Ramas	Matarasa	45.89 ± 0.64	c d
Ramas	Ganadería extensiva	46.11 ± 0.47	c d
Ramillas	Ganadería extensiva	46.25 ± 0.84	c d
Tallo	Ganadería extensiva	46.38 ± 0.81	c d
Hojas	Agricultura tradicional	46.72 ± 1.33	d
Hojas	Ganadería extensiva	48.51 ± 0.74	e
Hojas	Matarasa	49.20 ± 0.65	e

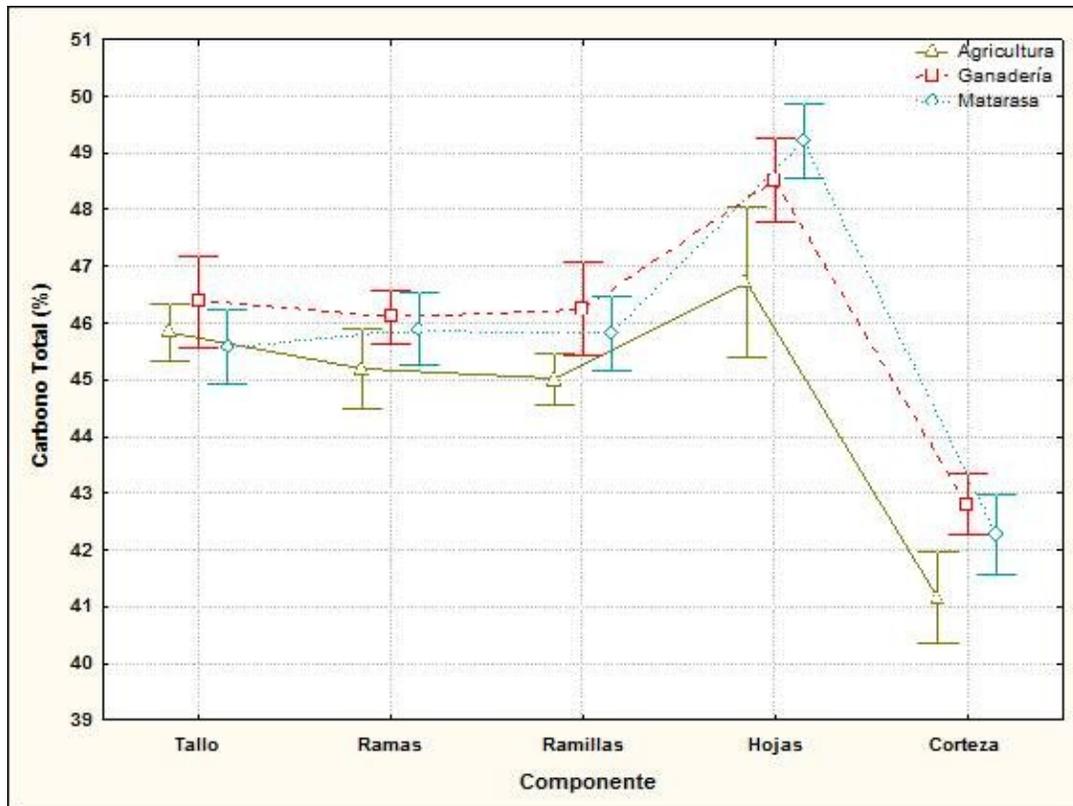


Figura 6. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente por sitio. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

## 6.5 Carbono Total (%) por componente por especie

El análisis de varianza (con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ ) muestra que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 0.000$ ) entre las medias de los componentes de la biomasa aérea de las especies. La prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) determina que el componente corteza del grupo integrado por las especies Anacahuita, Palo verde, Huizache, Chapote2, Colima, Gavia2, Vara dulce2, Gavia3, Vara dulce1 y Gavia1 es estadísticamente diferente y con valores inferiores (de 39.62 hasta 42.67 %) al CT de los componentes de las otras especies (Tabla 7), se puede observar en la Figura 7 que este componente obtuvo los porcentajes menores; sin embargo el componente corteza de las especies Huizache, Chapote2, Colima, Gavia2, Vara dulce2, Gavia3, Vara dulce1 y Gavia1, son estadísticamente iguales a otros grupos de componentes más amplios (Tabla 7); en contraparte, el componente hojas de las especies Chapote2, Huizache, Tenaza1, Vara dulce2, Gavia2, Gavia3, Gavia1, Colima, Tenaza2, Panalero y Hui Chino, son estadísticamente diferente al grupo anteriormente descrito, ya que presenta el contenido de CT más alto de todos los componentes de las especies (Figura 6), con valores que van de 47.32 hasta 50.14 %, destacando que lo acompañan en el mismo grupo los componentes tallo de las especies Panalero y Tenaza1 y ramillas de las especies Colima y Panalero que cuentan con un CT promedio que va de 47.01% hasta 48.13 % (Tabla 7).

En lo que respecta al componente hojas, la especie Anacahuita es la que presenta el porcentaje promedio de CT más bajo (43.09) en comparación al de las demás especies que varía de 46.54 hasta 50.14 de CT. Los componentes tallo, ramas y ramillas, presentan una relación muy estrecha en cada una de las especies ya que presentan una tendencia similar como se muestra en la figura 7.

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

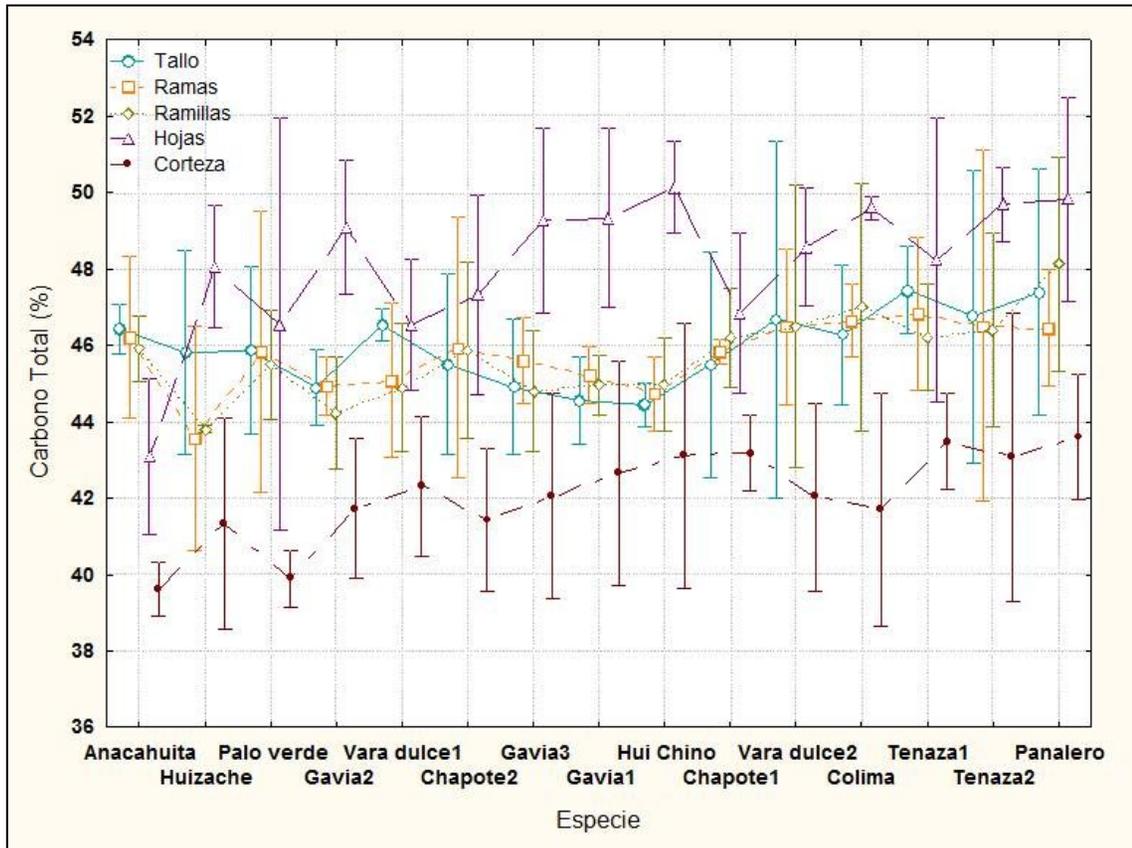


Figura 7. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente por especie. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

Tabla 7. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente por especie.

Componente	Especie	Media %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Corteza	Anacahuita	39.62	a
Corteza	Palo verde	39.90	a
Corteza	Huizache	41.33	a b
Corteza	Chapote2	41.44	a b c
Corteza	Colima	41.71	a b c d
Corteza	Gavia2	41.74	a b c d
Corteza	Vara dulce2	42.03	a b c d e
Corteza	Gavia3	42.06	a b c d e
Corteza	Vara dulce1	42.32	a b c d e f
Corteza	Gavia1	42.67	a b c d e f g
Corteza	Tenaza2	43.07	b c d e f g h
Hojas	Anacahuita	43.09	b c d e f g h i
Corteza	Hui Chino	43.12	b c d e f g h i
Corteza	Chapote1	43.17	b c d e f g h i j
Corteza	Tenaza1	43.47	b c d e f g h i j k
Ramas	Huizache	43.57	b c d e f g h i j k l
Corteza	Panalero	43.60	b c d e f g h i j k l

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Ramillas	Huizache	43.81	b c d e f g h i j k l m
Ramillas	Gavia2	44.22	b c d e f g h i j k l m n
Tallo	Hui Chino	44.44	b c d e f g h i j k l m n o
Tallo	Gavia1	44.54	c d e f g h i j k l m n o
Ramas	Hui Chino	44.75	d e f g h i j k l m n o
Ramillas	Gavia3	44.81	d e f g h i j k l m n o
Ramillas	Vara dulce1	44.89	e f g h i j k l m n o
Tallo	Gavia2	44.89	e f g h i j k l m n o
Tallo	Gavia3	44.91	e f g h i j k l m n o p
Ramas	Gavia2	44.95	e f g h i j k l m n o p
Ramillas	Gavia1	44.97	e f g h i j k l m n o p
Ramillas	Hui Chino	44.99	e f g h i j k l m n o p q
Ramas	Vara dulce1	45.09	e f g h i j k l m n o p q r
Ramas	Gavia1	45.23	f g h i j k l m n o p q r
Tallo	Chapote1	45.49	g h i j k l m n o p q r s
Ramillas	Palo verde	45.50	g h i j k l m n o p q r s
Tallo	Chapote2	45.51	g h i j k l m n o p q r s
Ramas	Gavia3	45.60	g h i j k l m n o p q r s
Tallo	Huizache	45.83	h i j k l m n o p q r s
Ramas	Chapote1	45.84	h i j k l m n o p q r s
Ramas	Palo verde	45.85	h i j k l m n o p q r s
Tallo	Palo verde	45.87	h i j k l m n o p q r s
Ramillas	Chapote2	45.87	h i j k l m n o p q r s
Ramillas	Anacahuita	45.90	h i j k l m n o p q r s
Ramas	Chapote2	45.94	h i j k l m n o p q r s
Ramillas	Chapote1	46.20	h i j k l m n o p q r s t
Ramillas	Tenaza1	46.21	h i j k l m n o p q r s t
Ramas	Anacahuita	46.22	i j k l m n o p q r s t
Tallo	Colima	46.29	j k l m n o p q r s t
Ramillas	Tenaza2	46.41	k l m n o p q r s t
Tallo	Anacahuita	46.43	k l m n o p q r s t
Ramas	Panalero	46.46	k l m n o p q r s t u
Ramas	Vara dulce2	46.49	k l m n o p q r s t u
Ramillas	Vara dulce2	46.51	k l m n o p q r s t u
Ramas	Tenaza2	46.51	k l m n o p q r s t u
Hojas	Vara dulce1	46.54	k l m n o p q r s t u
Tallo	Vara dulce1	46.54	k l m n o p q r s t u
Hojas	Palo verde	46.55	k l m n o p q r s t u v
Ramas	Colima	46.64	l m n o p q r s t u v
Tallo	Vara dulce2	46.68	l m n o p q r s t u v w
Tallo	Tenaza2	46.76	m n o p q r s t u v w
Ramas	Tenaza1	46.81	m n o p q r s t u v w
Hojas	Chapote1	46.84	m n o p q r s t u v w
Ramillas	Colima	47.01	n o p q r s t u v w x
Hojas	Chapote2	47.32	n o p q r s t u v w x
Tallo	Panalero	47.39	o p q r s t u v w x
Tallo	Tenaza1	47.45	o p q r s t u v w x
Hojas	Huizache	48.06	p q r s t u v w x
Ramillas	Panalero	48.13	q r s t u v w x

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Hojas	Tenaza1	48.23	r s t u v w x
Hojas	Vara dulce2	48.58	s t u v w x
Hojas	Gavia2	49.10	t u v w x
Hojas	Gavia3	49.28	t u v w x
Hojas	Gavia1	49.34	t u v w x
Hojas	Colima	49.59	u v w x
Hojas	Tenaza2	49.69	v w x
Hojas	Panalero	49.82	w x
Hojas	Hui Chino	50.14	x

Por otra parte se observa que hay un amplio rango de variación del contenido de CT entre los componentes de las especies, este rango va desde 39.62 en el componente corteza de Anacahuita hasta 50.14 % en las hojas de Huizache chino (Figura 6), significando un rango de 10.52 %; mientras que Díaz (2008), en 4 especies de latifoliadas en un bosque mixto en N.L., México, encontró un rango de variación similar en el contenido de carbono de 11.39 %, con un valor menor de 43.65 % en el componente corteza de *Quercus laceyi* y con el mayor de 55.04 % en las hojas de la especie *Arbutus xalapensis*. Gayoso y Guerra (2005), encontraron un rango de variación mayor, en 16 especies nativas de los tipos forestales Siempreverde y Roble-Raulí-Coigüe en Chile, de 13.45 puntos porcentuales, el componente con menor contenido fue las hojas de la especie *Dasyphyllum diacanthoides* (34.86) y el de mayor contenido fue el componente ramas de *Drimys winteri* (48.31), de la misma manera a Francis (2000), le resultó una variación de 12.1 % en 20 especies de bosques secundarios en estado de latizal (Tabla 8).

Tabla 8. Variabilidad de los porcentajes promedios de Contenido de Carbono reportados para los componentes de diferentes especies de latifoliadas.

Autor	Componente				
	Tallo Contenido de Carbono (%)	Ramas Contenido de Carbono (%)	Ramillas Contenido de Carbono (%)	Hojas Contenido de Carbono (%)	Corteza Contenido de Carbono (%)
Francis, 2000	50.2 – 55.4	50.2 – 55.4	50.2 – 55.4	45 – 54.8	43.3 – 54.5
Gayoso y Guerra, 2005	42.6 – 47.78	39.39 - 48.31	39.39 – 48.31	34.86 – 48.15	36.73 – 47.37
Díaz, 2008	48.94 – 51.31	47.86 - 51	47.86 - 51	50.4 – 55.04	43.65 – 48.12
En este estudio	44.44 – 47.45	43.57 – 46.81	43.81 – 48.13	43.09 – 50.14	39.62 – 43.6

La variación del contenido de carbono en los tejidos del árbol ha sido escasamente documentada en México. Uno de los estudios más extensos realizados en Australia por Gifford (2000), citado por Gayoso y Guerra (2005), señala que el contenido de carbono en componentes leñosos dependerá de la proporción de compuestos como la lignina y minerales inorgánicos. Según esto, como los contenidos de lignina y minerales difieren entre los distintos tejidos del árbol, es esperable que los diversos componentes del árbol presenten distintos contenidos de carbono. Diversos autores (Ascencio, 1982; Peñuelas y Lluís, 2003) mencionan que la variabilidad en el contenido de carbono en las hojas depende de las características anatómicas de estas, de los procesos fisiológicos como la fotorespiración, carboxilación y oxigenación, del balance o razón entre las actividades de las enzimas y de los cambios de la temperatura del ambiente.

### **6.6 Carbono Total (%) por componente de *Acacia rigidula* en los tres sitios**

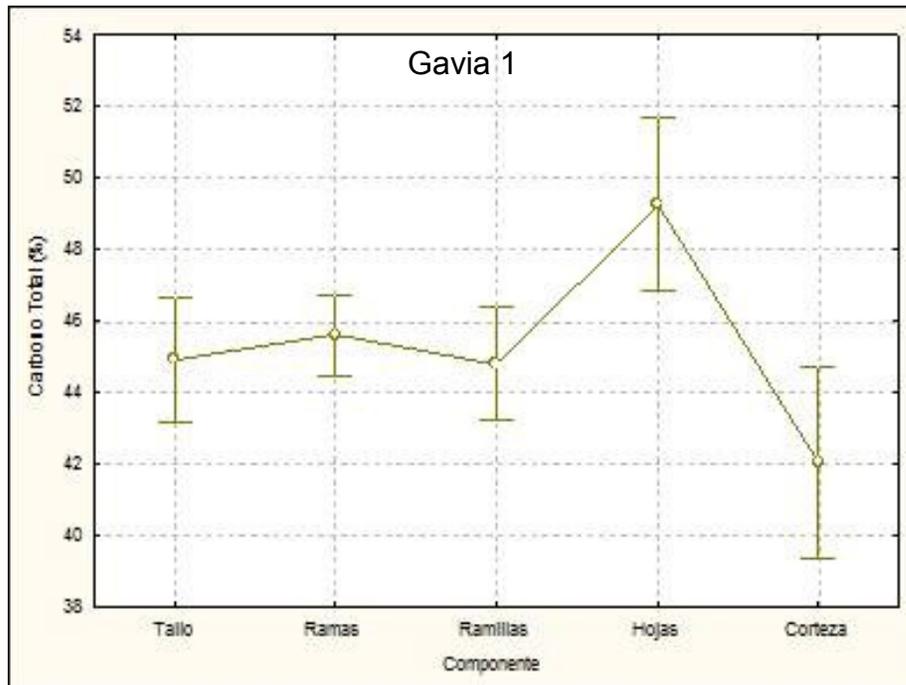
El ANOVA bajo el diseño completamente al azar y con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , determinó que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 9.39^{-06}$ ) Gavia1 sitio 1 Agricultura tradicional, ( $Pr > 4.47^{-07}$ ) Gavia2 sitio 2 Ganadería extensiva y ( $Pr > 1.29^{-05}$ ) Gavia3 sitio 3 Matarasa, entre los componentes de la biomasa aérea de esta especie en los tres sitios. La prueba de separación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) muestra para la Gavia1 (sitio 1) que existen diferencias significativas entre los componentes corteza y tallo con el componente hojas, con 42.67, 44.54 y 49.34 % de CT, respectivamente, los componentes tallo, ramas y ramillas forman un grupo el cual no presenta diferencias significativas; además señala que el componente corteza en el sitio 2 y 3 es estadísticamente diferente al resto de los componentes, con un valor inferior a estos (41.74 y 42.06 % respectivamente), mientras que los componentes tallo, ramas y ramillas no muestran diferencias estadísticas entre sí, ya que tienen valores de 44.22 a 44.95 % y 44.81 a 45.6 %, respectivamente, por otra parte el componente hojas es estadísticamente

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

diferente a estos dos grupos, ya que muestra el porcentaje superior de los componentes (49.1 y 49.28 % respectivamente). (Tabla 9; Figura 8).

Tabla 9. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componentes de *Acacia rigidula* en los tres sitios: sitio 1 Agricultura tradicional (Gavia1), sitio 2 Ganadería extensiva (Gavia2) y sitio 3 Matarasa (Gavia3). (SD = Desviación estándar de la muestra).

Espece y No. de Sitio	Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Gavia1	Corteza	42.67 ± 2.94	a
	Tallo	44.54 ± 1.14	a b
	Ramillas	44.97 ± 0.79	b
	Ramas	45.23 ± 0.74	b
	Hojas	49.34 ± 2.36	c
Gavia2	Corteza	41.74 ± 1.83	a
	Ramillas	44.22 ± 1.47	b
	Tallo	44.89 ± 0.99	b
	Ramas	44.95 ± 0.77	b
	Hojas	49.10 ± 1.77	c
Gavia3	Corteza	42.06 ± 2.68	a
	Ramillas	44.81 ± 1.59	b
	Tallo	44.91 ± 1.77	b
	Ramas	45.60 ± 1.13	b
	Hojas	49.28 ± 2.43	c



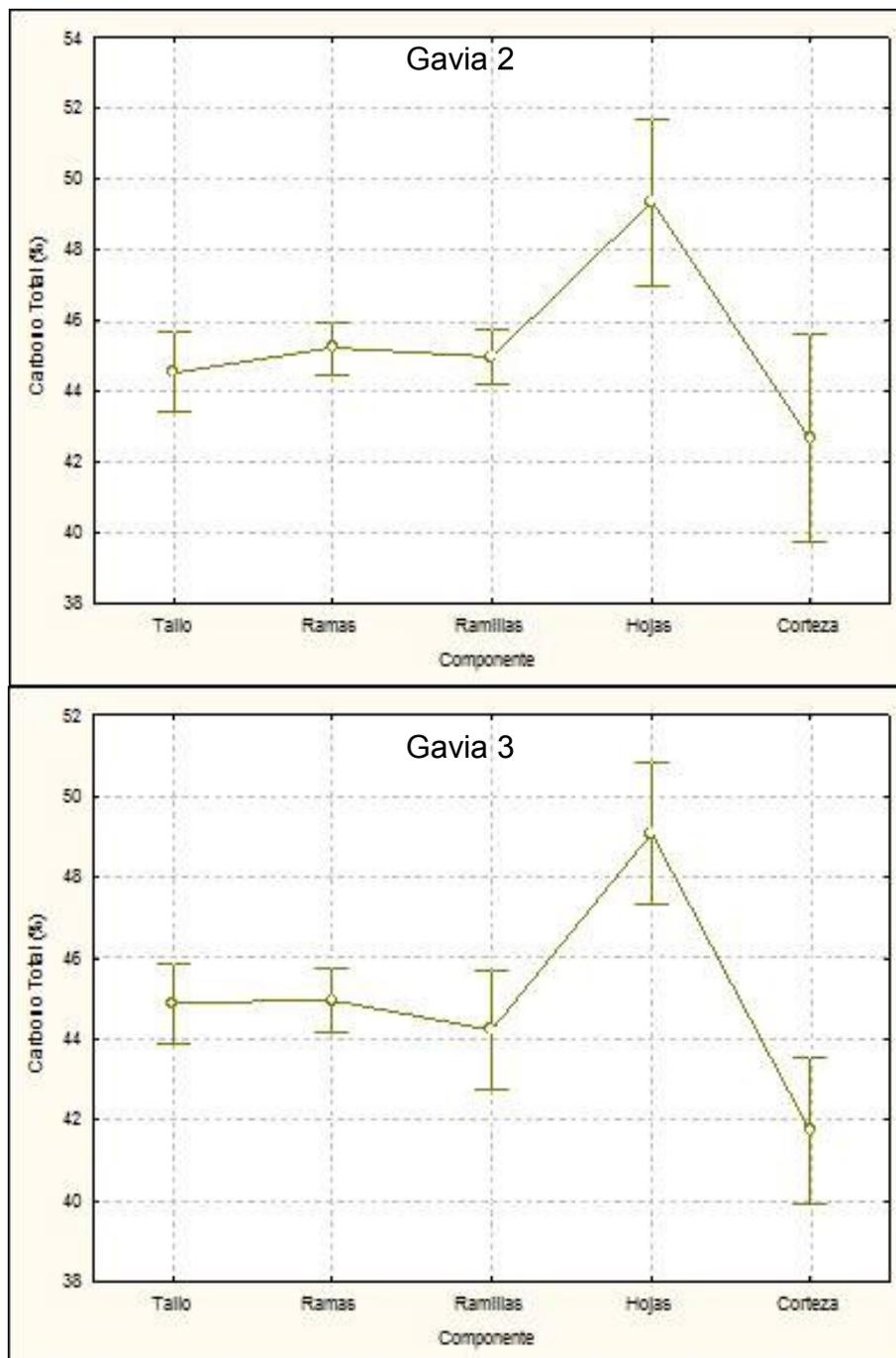


Figura 8. Porcentaje promedio de Carbono Total por componentes de *Acacia rigidula* en los tres sitios: sitio 1 Agricultura tradicional (Gavia1), sitio 2 Ganadería extensiva (Gavia2) y sitio 3 Matarasa (Gavia3). La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

### 6.7 Carbono Total (%) por componente de *Havardia pallens* en dos sitios

El ANOVA realizado bajo el diseño completamente aleatorio ( $\alpha = 0.05$ ), determinó que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 4.93 \cdot 10^{-4}$ ) y ( $Pr > 0.0025$ ) entre los componentes de la biomasa aérea de Tenaza1 (sitio 2 Ganadería extensiva) y Tenaza2 (sitio 3 Matarasa) respectivamente. Por lo tanto en la prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) se observa (Tabla 10) que el componente corteza de Tenaza1 es estadísticamente diferente con valor inferior al resto de los componentes (43.47 %), mientras que entre los componentes tallo, ramas, ramillas y hojas no hay diferencias estadísticas con valores entre 46.21 y 48.23 %; para los componentes de la Tenaza2 se formaron dos grupos de medias uno compuesto de los componentes corteza, ramillas y ramas, el otro de ramillas, ramas, tallo y hojas, encontrando diferencias significativas entre la corteza con el valor menor de porcentaje de CT de 43.47 con el tallo y las hojas con 46.76 y 49.69 % respectivamente (Figura 9).

Tabla 10. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de *Havardia pallens* en dos sitios: sitio 2 Ganadería extensiva (Tenaza1) y sitio 3 Matarasa (Tenaza2) (SD = Desviación estándar de la muestra).

Especie y No. de Sitio	Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Tenaza1	Corteza	43.47 ± 1.26	a
	Ramillas	46.21 ± 1.40	b
	Ramas	46.81 ± 2.01	b
	Tallo	47.45 ± 1.14	b
	Hojas	48.23 ± 3.73	b
Tenaza2	Corteza	43.07 ± 3.79	a
	Ramillas	46.41 ± 2.55	a b
	Ramas	46.51 ± 4.60	a b
	Tallo	46.76 ± 3.84	b
	Hojas	49.69 ± 0.96	b

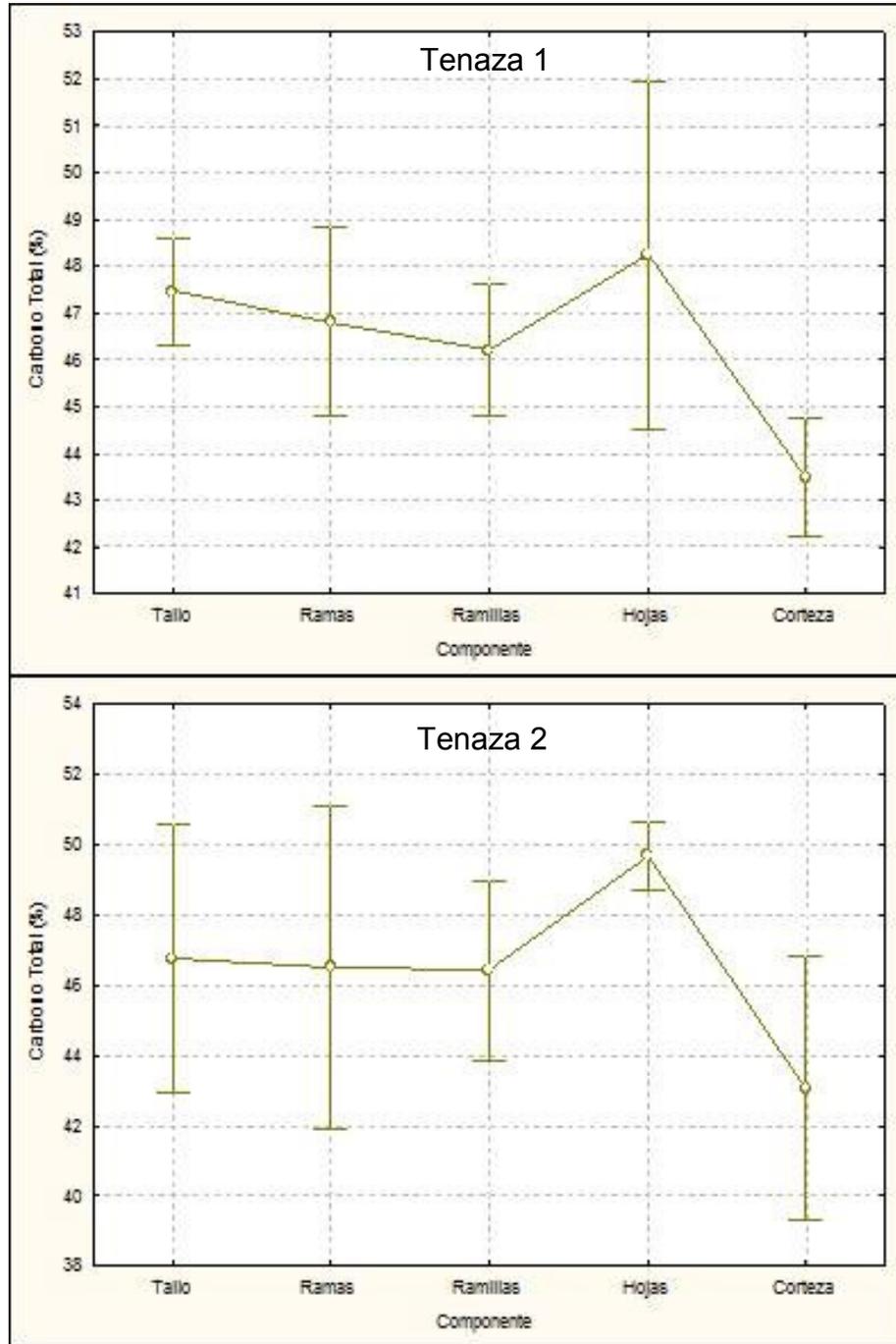


Figura 9. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de *Havadia pallens* en dos sitios: sitio 2 Ganadería extensiva (Tenaza1) y sitio 3 Matarasa (Tenaza2). La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

### 6.8 Carbono Total (%) por componente de *Eysenhardtia texana* en dos sitios

Para esta especie en los dos sitios: sitio 1 Agricultura tradicional (Varadulce1) y sitio 2 Ganadería extensiva (Varadulce2) y de acuerdo al ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio ( $\alpha = 0.05$ ), se determinó que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 8.18 \cdot 10^{-5}$ ) y ( $Pr > 0.001$ ) entre los componentes de la biomasa aérea respectivamente. Mientras que en la prueba de comparación de medias Tukey, se determinó que los componentes en los que hay diferencias significativas es entre la corteza y las hojas, tallo, ramas y ramillas, en los dos sitios como se puede observar en la tabla 11. En la figura 10 se observa un comportamiento similar del CT de los componentes en los dos sitios.

Tabla 11. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de *Eysenhardtia texana* en dos sitios: sitio 1 Agricultura tradicional (Varadulce1) y sitio 2 Ganadería extensiva (Varadulce2) (SD = Desviación estándar de la muestra).

Espece y No. de Sitio	Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Vara dulce1	Corteza	42.32 ± 1.84	a
	Ramillas	44.89 ± 1.69	b
	Ramas	45.09 ± 2.02	b
	Hojas	46.54 ± 1.71	b
	Tallo	46.54 ± 0.42	b
Vara dulce2	Corteza	42.03 ± 2.45	a
	Ramas	46.49 ± 2.04	b
	Ramillas	46.51 ± 3.69	b
	Tallo	46.68 ± 4.69	b
	Hojas	48.58 ± 1.54	b

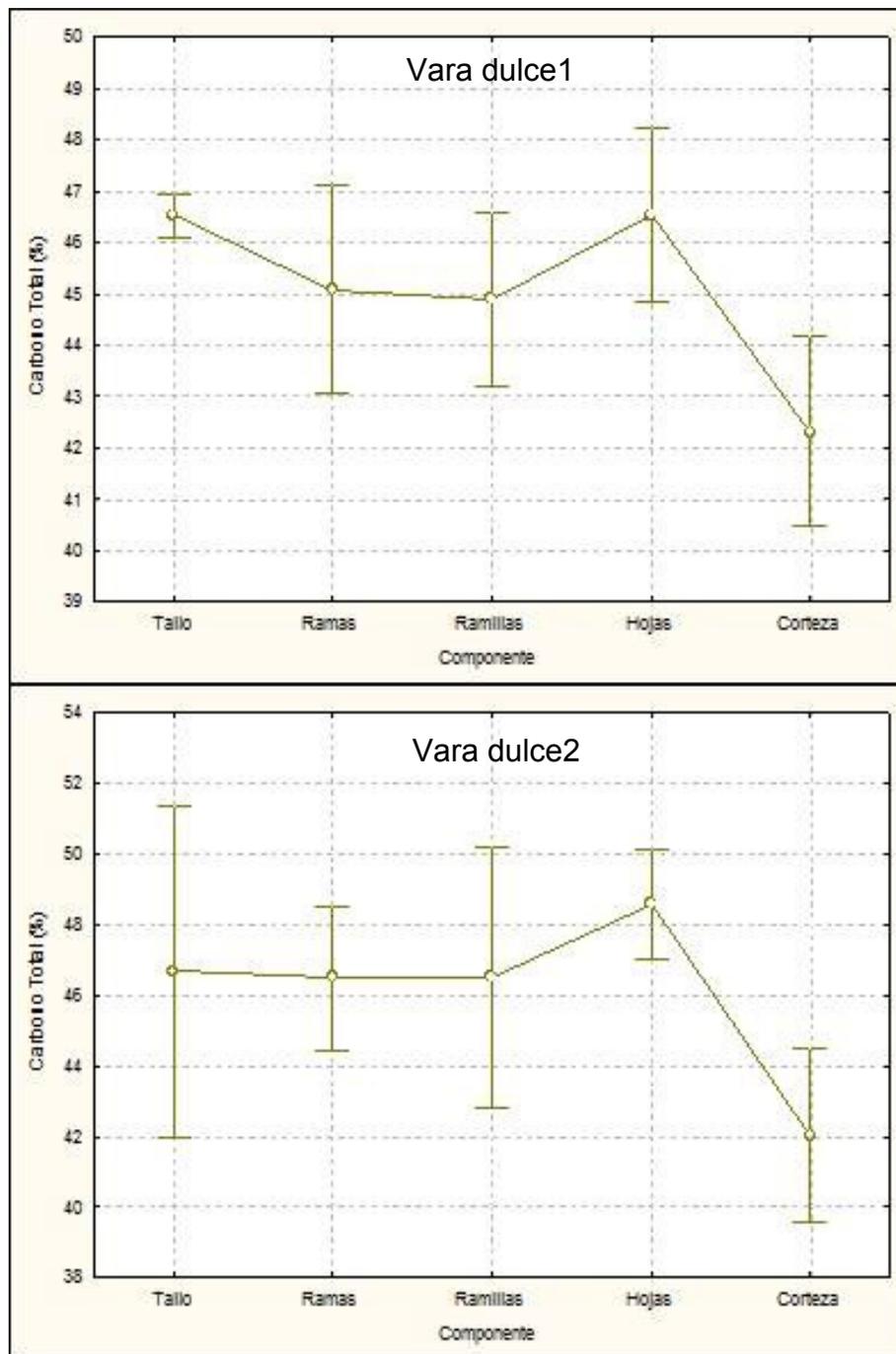


Figura 10. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de *Eysenhardtia texana* en dos sitios: sitio 1 Agricultura tradicional (Varadulce1) y sitio 2 Ganadería extensiva (Varadulce2). La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

### 6.9 Carbono Total (%) por componente de *Diospyros texana* en dos sitios

El ANOVA realizado bajo el diseño completamente aleatorio ( $\alpha = 0.05$ ), determinó que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 9.98^{-04}$ ) para Chapote1 en el sitio 2 Ganadería extensiva y ( $Pr > 4.32^{-04}$ ) para Chapote2 en el sitio 3 Matarasa entre los componentes de la biomasa aérea. Por lo tanto la prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) estimó que el componente corteza en los dos sitios es estadísticamente diferente con valor inferior (Chapote1 43.17 % y Chapote2 41.44%) al resto de los componentes (Tabla 12; Figura 11).

Tabla 12. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de *Diospyros texana* en dos sitios: sitio 2 Ganadería extensiva (Chapote1) y sitio 3 Matarasa (Chapote2) (SD = Desviación estándar de la muestra).

<b>Especie y No. de Sitio</b>	<b>Componente</b>	<b>Media y SD %</b>	<b>Agrupación Tukey<sup>1</sup></b>
Chapote1	Corteza	43.17 ± 0.99	a
	Tallo	45.49 ± 2.97	b
	Ramas	45.84 ± 0.33	b
	Ramillas	46.20 ± 1.31	b
	Hojas	46.84 ± 2.10	b
Chapote2	Corteza	41.44 ± 1.87	a
	Tallo	45.51 ± 2.38	b
	Ramillas	45.87 ± 2.30	b
	Ramas	45.94 ± 3.42	b
	Hojas	47.32 ± 2.60	b

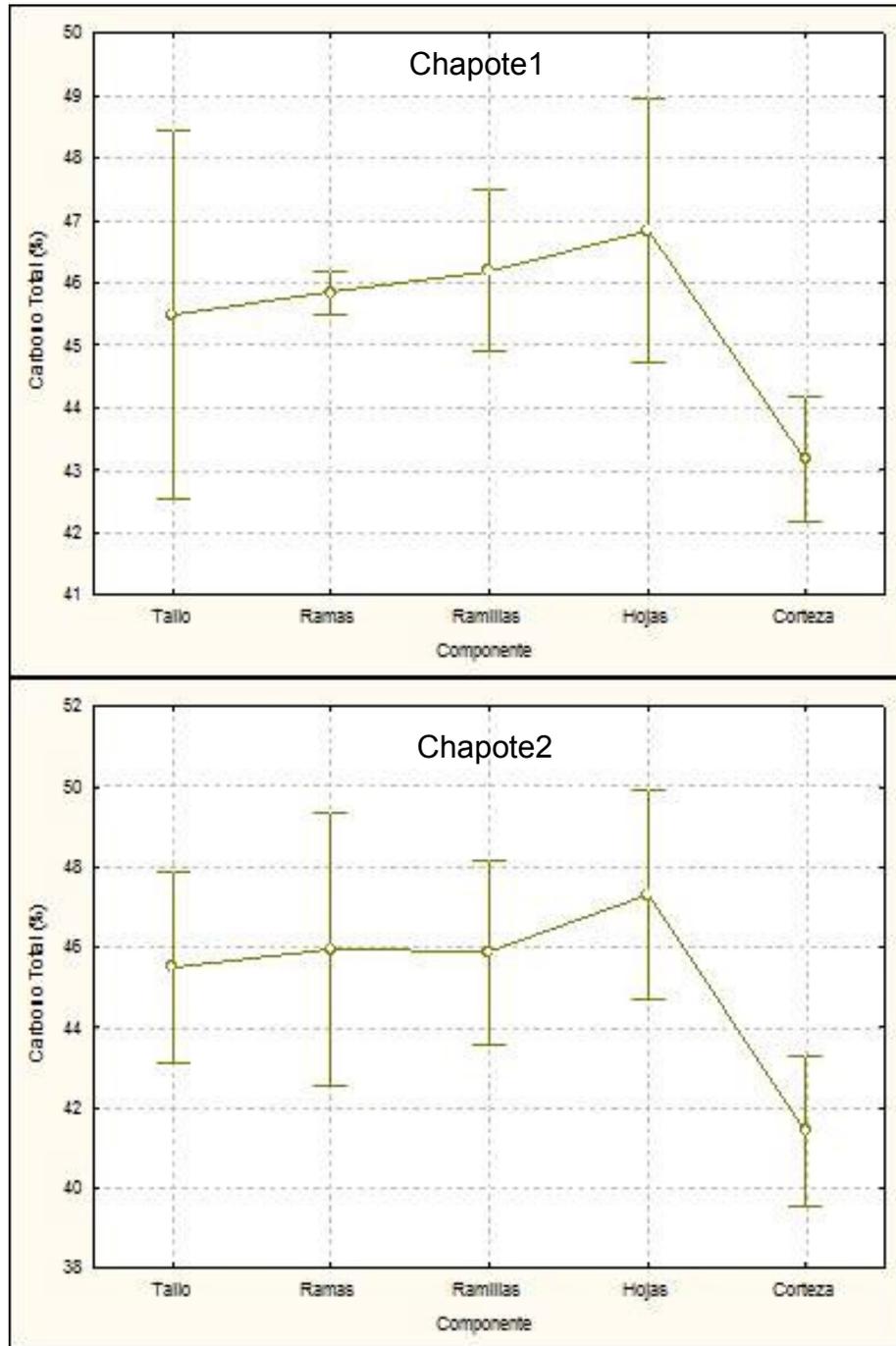


Figura 11. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de *Diospyros texana* en dos sitios: sitio 2 Ganadería extensiva (Chapote1) y sitio 3 Matarasa (Chapote2). La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

### 6.10 Carbono Total (%) por componente de *Zanthoxylum fagara*

El ANOVA ( $\alpha= 0.05$ ) determinó que existen diferencias altamente significativas entre los componentes de esta especie ( $Pr > 1.27^{-05}$ ); mientras que en el análisis de comparación de medias Tukey (Tabla 13) resultó que existen diferencias estadísticas entre el componente corteza con el porcentaje de CT menor de 41.71%, el grupo integrado por la tallo, ramas y ramillas (estos siendo estadísticamente iguales) y por último las hojas con el porcentaje de CT mayor de 49.59%.

En la figura 12 se destaca el comportamiento del componente hojas, ya que es el componente con mayor contenido de CT por unidad de biomasa base peso seco de todos los componentes, además se observa la gran diferencia entre este componente y el componente corteza, donde se dan las diferencias altamente significativas en el ANOVA, realizado para los componentes de esta especie.

Tabla 13. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de *Zanthoxylum fagara* (Colima) en el sitio 3 Matarasa. (SD = Desviación estándar de la muestra).

Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Corteza	41.71 ± 3.05	a
Tallo	46.29 ± 1.83	b
Ramas	46.64 ± 0.95	b
Ramillas	47.01 ± 3.24	b
Hojas	49.59 ± 0.31	c

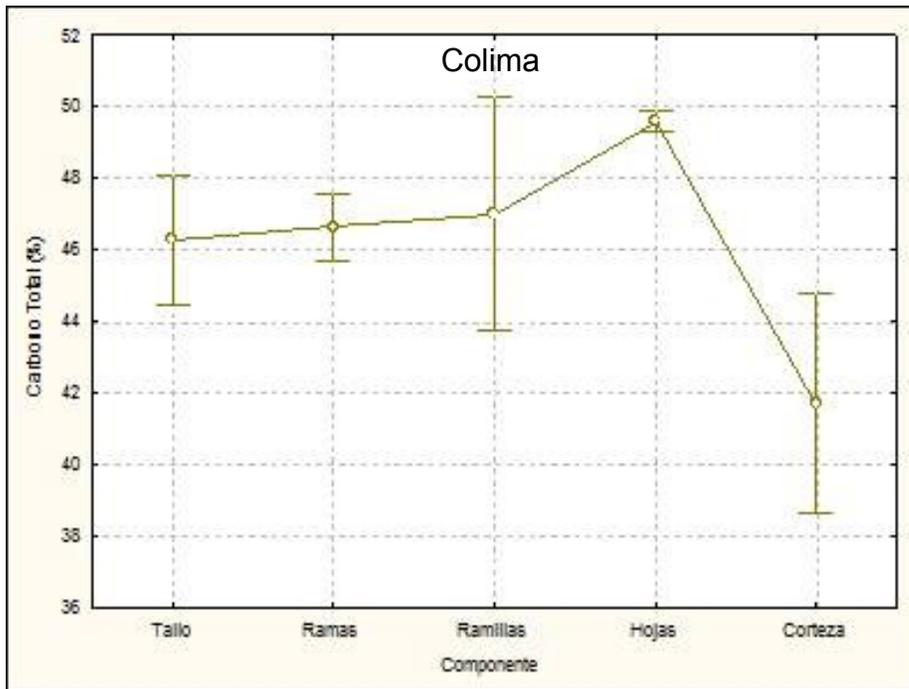


Figura 12. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de *Zanthoxylum fagara* (Colima) en el sitio 3 Matarasa. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

### 6.11 Carbono Total (%) por componente de *Acacia schaffneri*

Los resultados obtenidos con el ANOVA ( $\alpha = 0.05$ ) completamente al azar realizado para los componentes de esta especie, determinó que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 3.39^{-06}$ ) entre las medias aritméticas del contenido de CT. La prueba de separación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) muestra que sólo existen diferencias significativas entre el componente hojas (el cual tiene el porcentaje mayor de todas las especies con 50.14 %) y el grupo conformado por los demás componentes corteza, tallo, ramas y ramillas (Tabla 14; Figura 13).

Tabla 14. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de *Acacia schaffneri* (Hui chino) en el sitio 3 Matarasa (SD = Desviación estándar de la muestra).

Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Corteza	43.12 ± 3.47	a
Tallo	44.44 ± 0.58	a
Ramas	44.75 ± 0.97	a
Ramillas	44.99 ± 1.22	a
Hojas	50.14 ± 1.21	b

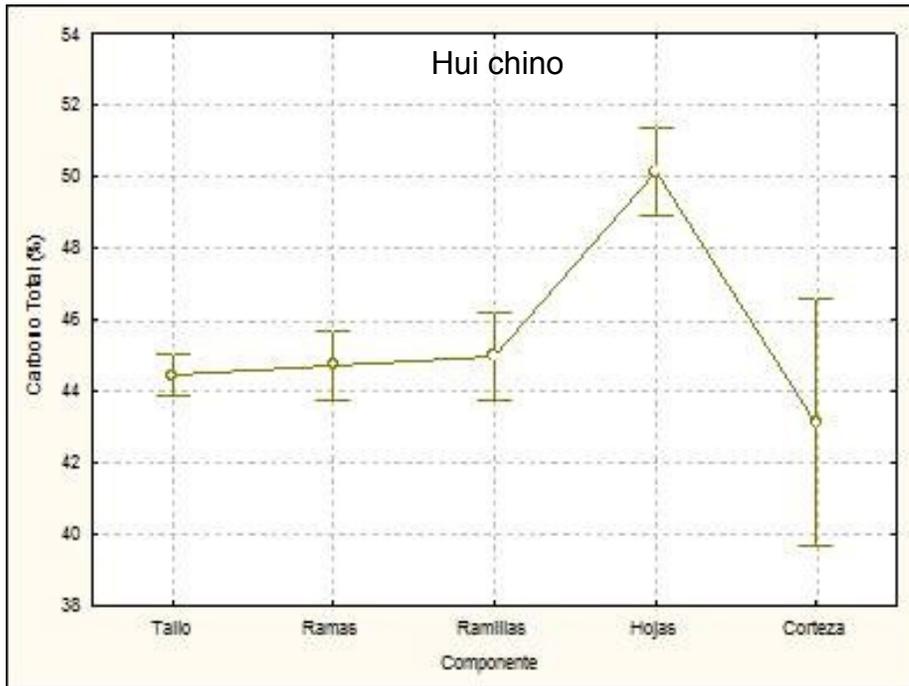


Figura 13. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de *Acacia schaffneri* (Hui chino) en el sitio 3 Matarasa. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

### 6.12 Carbono Total (%) por componente de *Forestiera angustifolia*

El análisis de varianza (con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ ) muestra que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 2.25^{-04}$ ) entre las medias de los componentes de la biomasa aérea. La prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) determina que el componente corteza es estadísticamente diferente a los demás componentes, de igual manera sucede con el componente hojas con las ramas (Tabla 15).

Tabla 15. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de *Forestiera angustifolia* (Panalero) en el sitio 2 Ganadería extensiva (SD = Desviación estándar de la muestra).

Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Corteza	43.60 ± 1.64	a
Ramas	46.46 ± 1.53	b
Tallo	47.39 ± 3.21	b c
Ramillas	48.13 ± 2.80	b c
Hojas	49.82 ± 2.66	c

En la figura 14 se puede observar que el componente hojas resulto con el porcentaje mayor, los componentes tallo, ramas y ramillas tienen un comportamiento similar en el CT (%) y por último la corteza con el valor menor.

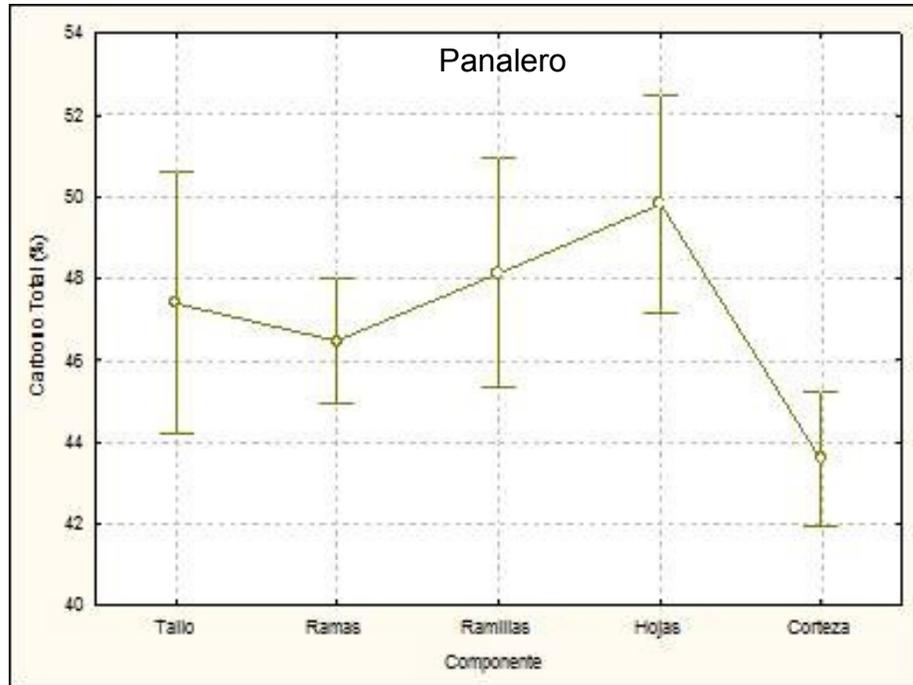


Figura 14. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de *Forestiera angustifolia* (Panalero) en el sitio 2 Ganadería extensiva. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

### 6.13 Carbono Total (%) por componente de *Acacia farnesiana*

El ANOVA bajo el diseño completamente al azar y con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , determinó que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 4.87 \cdot 10^{-5}$ ), entre los componentes de la biomasa aérea. La prueba de separación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) muestra que existen diferencias significativas entre los componentes corteza y ramas (teniendo los valores menores de 41.33 y 43.57 respectivamente) con el componente hojas, el cual tiene el porcentaje mayor 48.06 % de CT (Tabla 16).

Los componentes tallo, ramas y ramillas forman un grupo el cual no presenta diferencias significativas entre ellos en la prueba de Tukey, las hojas tienen el porcentaje mayor y la corteza el menor, en la figura 15 se aprecia esta distribución.

Tabla 16. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de *Acacia farnesiana* (Huizache) en el sitio 1 Agricultura tradicional (SD = Desviación estándar de la muestra).

Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Corteza	41.33 ± 2.76	a
Ramas	43.57 ± 2.92	a b
Ramillas	43.81 ± 0.09	b
Tallo	45.83 ± 2.68	b c
Hojas	48.06 ± 1.60	c

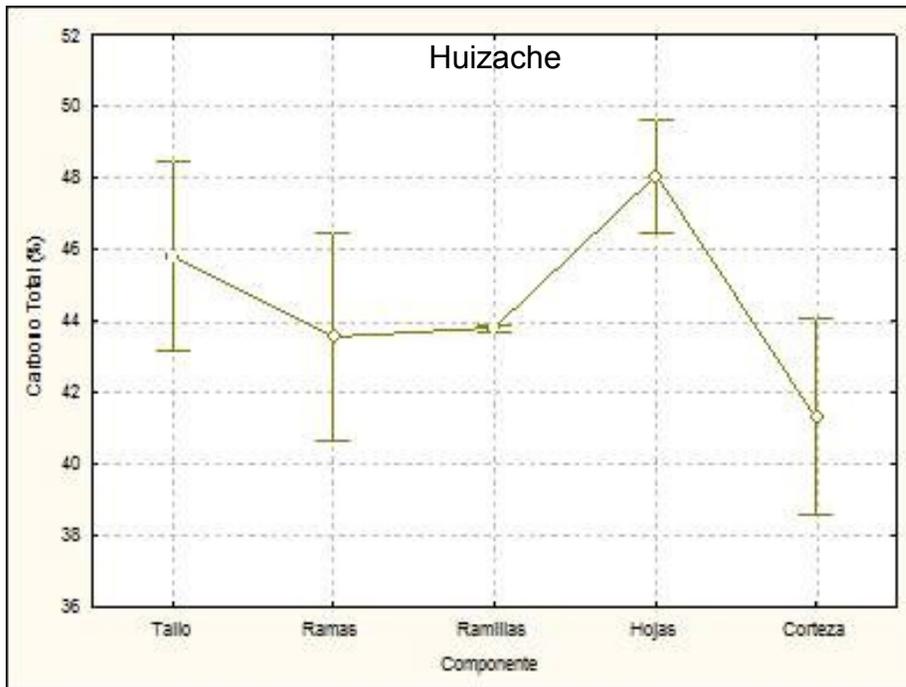


Figura 15. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de *Acacia farnesiana* (Huizache) en el sitio 1 Agricultura tradicional. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

Los valores reportados por Petre *et al.*, (2006), para los componentes de la especie *Acacia caven* son mayores que el de las especies del mismo género de este estudio los cuales resultaron con valores similares entre estas como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Porcentajes promedios de los componentes de las especies del genero Acacia.

Autor	Componente			
	Tallo Contenido de Carbono (%)	Ramas Contenido de Carbono (%)	Ramillas Contenido de Carbono (%)	Corteza Contenido de Carbono (%)
Petre <i>et al.</i> , 2006				
<i>Acacia caven</i>	47.38	47.5	46.69	48.91
<i>Acacia rigidula</i>	44.78	45.26	44.67	42.15
<i>Acacia schaffneri</i>	44.44	44.75	44.99	43.12
<i>Acacia farnesiana</i>	45.83	43.57	43.81	41.33

#### 6.14 Carbono Total (%) por componente de *Cordia boissieri*

Los componentes corteza y hojas en esta especie resultaron con los porcentajes menores de 39.62 y 43.09 respectivamente, en comparación con las demás especies, en la prueba de Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) estos componentes son estadísticamente diferente entre ellos y con los demás componentes los cuales forman un grupo de medias, esto se puede apreciar en la tabla 18 y en la figura 16.

Tabla 18. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de *Cordia boissieri* (Anacahuita) en el sitio 1 Agricultura tradicional. (SD = Desviación estándar de la muestra).

Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Corteza	39.62 ± 0.70	a
Hojas	43.09 ± 2.04	b
Ramillas	45.90 ± 0.86	c
Ramas	46.22 ± 2.11	c
Tallo	46.43 ± 0.66	c

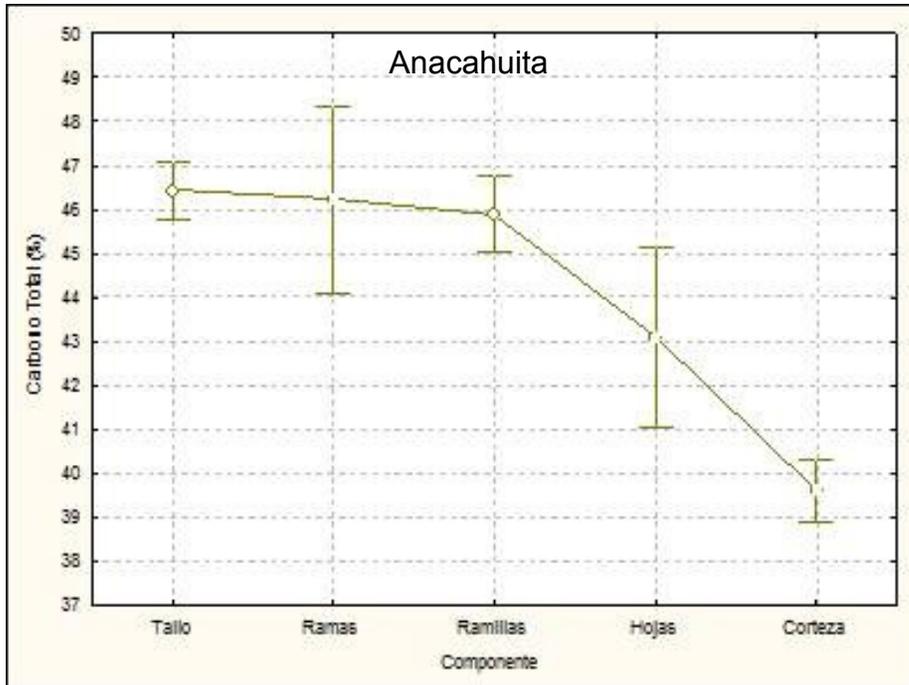


Figura 16. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de *Cordia boissieri* (Anacahuita) en el sitio 1 Agricultura tradicional. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

### 6.15 Carbono Total (%) por componente de *Cercidium macrum*

El ANOVA realizado bajo el diseño completamente aleatorio ( $\alpha = 0.05$ ), determinó que existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 4.51 \cdot 10^{-4}$ ) entre los componentes de la biomasa aérea. Por lo tanto la prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) estimó que el componente corteza es estadísticamente diferente con porcentaje inferior (39.9 %) al resto de los componentes (Tabla 19; Figura 17).

Tabla 19. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para el porcentaje de CT por componente de *Cercidium macrum* (Palo verde) en el sitio 1 Agricultura tradicional (SD = Desviación estándar de la muestra).

Componente	Media y SD %	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Corteza	39.90 ± 0.75	a
Ramillas	45.50 ± 1.44	b
Ramas	45.85 ± 3.68	b
Tallo	45.87 ± 2.19	b
Hojas	46.55 ± 5.40	b

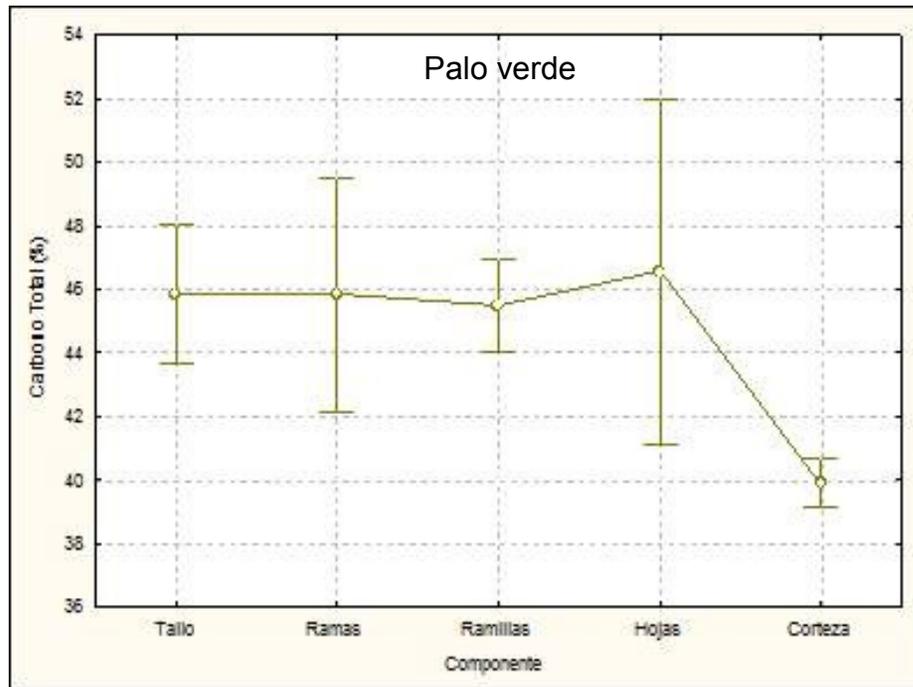


Figura 17. Porcentaje promedio de Carbono Total por componente de *Cercidium macrum* (Palo verde) en el sitio 1 Agricultura tradicional. La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95 %.

## 7. CONCLUSIONES

En el contenido promedio de carbono total de las especies no se encontraron diferencias, por tal motivo la hipótesis 1 se rechaza, este contenido vario de 44.25 a 47.08 % con una media general de 45.52 %, la Anacahuita y el Huizache en el sitio de Agricultura tradicional son las especies que resultaron con los valores menores, el Panalero con el más alto en el sitio de Ganadería extensiva; el rango de variación del contenido de CT entre las especies es de tres puntos porcentuales.

Los componentes Tallos, Ramas y Ramillas de todas las especies mostraron un comportamiento similar en el contenido de Carbono Total, resultando diferencias con el de las Hojas este con el valor más alto y la Corteza con el menor, por lo tal, la hipótesis 2 se confirma.

Los componentes en el sitio de Ganadería extensiva presentan los valores mayores a excepción de las hojas, en el sitio de Matarasa los componentes ramas, ramillas y corteza muestran los valores intermedios, el tallo el valor menor, las hojas el mayor en respecto a los tres sitios, los componentes ramas, ramillas, hojas y corteza en el sitio de Agricultura tradicional presentan los valores menores.

El componente corteza de las especies Anacahuita, Palo verde, Huizache, Chapote2, Colima, Gavia2, Vara dulce2, Gavia3, Vara dulce1 y Gavia1 presentaron los valores más bajos en el contenido de carbono total (de 39.62 hasta 42.67 %) en relación al CT de los componentes de las otras especies; en contraparte, el componente hojas de las especies Chapote2, Huizache, Tenaza1, Vara dulce2, Gavia2, Gavia3, Gavia1, Colima, Tenaza2, Panalero y Hui Chino, resultaron con el contenido de CT más alto de todos los componentes de las especies, con valores que van de 47.32 hasta 50.14 %.

En lo que respecta al componente hojas, la especie Anacahuita es la que presenta el porcentaje promedio de CT más bajo (43.09) en comparación al de las demás especies que varía de 46.54 hasta 50.14 de CT. Los componentes tallo, ramas y ramillas, presentan una relación muy estrecha en cada una de las especies, ya que presentan una tendencia similar.

Por otra parte, se obtuvo un amplio rango de variación del contenido de CT entre los componentes de las especies, este rango va desde 39.62 % en el componente corteza de Anacahuita hasta 50.14 % en las hojas de Huizache chino, significando un rango de 10.52 %.

Se obtuvieron diferencias altamente significativas entre el contenido de CT de los componentes de cada especie, esto debido en su mayoría a los valores tanto altos como bajos de los componentes corteza y hoja según la especie, el contenido de CT de los componentes tallo, ramas y ramillas en cada una de las especies fue similar. La especie colima (*Zanthoxylum fagara*) es la que presenta el más amplio margen de contenido de CT, con más de siete puntos porcentuales entre los componentes, dado que el menor contenido de CT se encuentra en la corteza (41.71 %) y el mayor lo tiene en las hojas (49.59%).

Los valores de carbono total encontrados para estas especies en estos sitios son menores al recomendado por la IPCC (50 %), generalizar el contenido de CT de esta manera podría proporcionar subestimación o sobrestimación del carbono capturado en este ecosistema, por tal motivo se recomienda utilizar valores específicos por especie ó grupos de especies.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Alanís, E. 2006. Diversidad de especies arbóreas y arbustivas en áreas con distinto historial antropogenico en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. México.
- Alanís, G., Cano, G. y Rovalo, M. 1996. Vegetación y Flora de Nuevo León: Una guía botánico-ecológica. Edición y publicación Cemex. Monterrey, México. 23 p.
- Ares, A., Boniche, J., Quesada, J., Yost, R., Molina, E. y Smyth, T. 2002. Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrimentos y carbono en plantaciones de palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 26(2): 19-30.
- Arévalo, L., Alegre, J.C. y Palm, C. 2003. Manual de reservas de carbono en diferentes Sistemas de uso de la tierra. Edición: Grafica Miguel Álvarez.
- Ascencio, J. 1982. Mecanismos fotosintéticos en plantas con fotosíntesis intermedia  $C_3$  - $C_4$  y en plantas acuáticas. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)*, XII (3-4): 267-282.
- Barbour, M.G., Burk, J.H. and Pitts, W.D. 1987. *Terrestrial plant ecology*. The Benjamin Cummings Publishing Company Inc. California.
- Barrionuevo, S., Araujo, P., Reuter, F. y López, J. 2001. Estimación del Contenido de Carbono en la Biomasa de *Aspidosperma quebracho blanco* (schelechtend). Memorias del Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile.

- Bolin, B., Doos, B.R., Jager, J. y Warrick, R.A. 1986. "The Green House Effect, Climate Change and Ecosystems". Ed. John Wileys & Sons.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. Fao, Montes 134. Roma. 55 p.
- Brown, S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. Winrock International, Arlington, Virginia.
- Brown, S., Cabarle, B. and Livernash, R. 1997. Carbon counts: Estimating climate change mitigation in forestry projects. Estados Unidos, World Resources Institute. 25 p.
- Brown, S., Gillespie, A. J. and Lug. A. E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forest Science, Vol. 35, No. 4.
- Callo-Concha, D., Krishnamurthy, L. y Alegre, J. 2002. Secuestro de Carbono por Sistemas Agroforestales Amazónicos. Revista Chapingo: Ciencias Forestales y Medio Ambiente. Universidad Autónoma Chapingo. 8(2).101-106.
- Callo-Concha, D., Rajagopal, I. y Krishnamurthy, L. 2004. Secuestro de Carbono por Sistemas Agroforestales en Veracruz. Ciencia UANL. 7 (2).
- Castañeda-Mendoza, A., Vargas-Hernández, J., Gómez-Guerrero, A., Valdez-Hernández, J. y Vaquera-Huerta, H. 2005. Acumulación de Carbono en la Biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. Agrociencia. 39(1):107-116.

COTECOCA-SARH. 1973. Coeficientes de Agostaderos de la Republica Mexicana, Edo. de N.L. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostaderos, México.

Cubero, J. y Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis*) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojanca y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Licenciatura en Ciencias Forestales con Énfasis en Desarrollo Forestal. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 95 p.

Dauber, E., Teran, J. y Guzmán, R. 2002. Estimación de Biomasa y Carbono en bosques naturales de Bolivia. Revista Iberoamericana. 1(1). pp 10

Dennis, S. O., Aburime, S.A. and Harrison, R. E. 2001. Transport of simazine in soil amended with pine bark wood fiber. Proceedings of Southern Nursery Association (SNA) Research Conference. 46: 602-605

Diamond, D., Riskind, D. and Orzell, S. 1987. A framework for plant community classification and conservation in Texas. Texas Journal of Science. 39: 202-221.

Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M.C. and Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science. 263(5144): 185-190.

Díaz, J. 2008. Contenido de carbono total en los componentes de la biomasa aérea de las especies representativas del bosque de pino - encino en la sierra madre oriental. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. México.

- Estrada, E. y Marroquín, F. 1988. Leguminosas de Nuevo León: Sinopsis de las especies de Linares. Reporte científico No. 9 Facultad de Ciencias Forestales U.A.N.L., Linares, N.L. México. Pp. 2-3.
- Foroughbakhch, R. y Heiseke, D. 1990. Manejo silvícola del matorral: raleo, enriquecimiento y regeneración controlada. Reporte Científico No. 19, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. México. 6 p.
- Foroughbakhch, R. y Peñaloza, R. 1988. Introducción de 10 especies forestales en el matorral del noreste de México. Reporte Científico No. 8, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. México. 33 p.
- Fragoso, L. 2003. Estimación del Contenido y Captura de Carbono en Biomasa aérea del predio "Cerro Grande" municipio de Tancítaro Michoacán México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología. Uruapan, Michoacán. 65pp.
- Francis, J. 2000. Estimating Biomass and Carbon Content of Saplings in Puerto Rican Secondary Forests. Caribbean Journal of Science. 36 3-4: 346-350.
- García, E. 1973. Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía. UNAM.
- Gayoso, J. 2002. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Revista Forestal Iberoamericana. 1(1).
- Gayoso, J. y Guerra, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. Bosque. 26(2): 33-38,

- González, M. 1985. El limite sur de la provincial biótica tamaulipeca. II Simposio Internacional sobre la provincia biótica tamaulipeca, U.A.T. y U.N.A.M., Resúmenes.7p.
- Goudie, A. 1990. "The Human Impact on the Natural Environment". Basil Blackwell Ltd, Oxford, U.K. 3a Ed. 388 pp.
- Harmon, M. E. 2001: Carbon sequestration in forests. Jour. Forestry 99(4): 24-29.
- Houghton, R.A. and Woodwell, C.M. 1989. Global Climatic Change. Scientific American. 260:4, pp. 36-40.
- Houghton, R.A., Hackler, J. L. and Lawrence, K.T. 1999. The U.S. carbon budget: Contributions from land-use change. Science. 285: 574-577.
- Husch, B. 2001. Estimación del contenido de carbono de los bosques. Trabajo presentado en el Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile.
- Ibáñez, J., Vayreda, J. y Gracia, C. 2001. Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Cataluña. Centre de Recerca Ecológica y Aplicacions Forestals (CREAF).
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, J. y Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Agroforestería en las Américas No. 45

IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, *In* IPCC Good Practice Guidance for LULUCF, Chapter 4: Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Panel on Climate Change, Eds, Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. p. 4, 113 – 116.

Intergovernmental Panel on Climatic Change. 1995. "Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assesment". Cambridge University Press. Cambridge.

IPCC, 1996. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3. Revised Version. London.

Jiménez, J. 2003. Programa fijación de carbono en la Reserva de la Biosfera El Cielo. Informe Final. Dirección de Recursos Naturales y Medio ambiente. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. 64 p.

Kollmann, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo primero. IFIE, Madrid. 675 pp.

Lapeyre, T., Alegre, J. y Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de Carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*. 3(1,2), 35-44.

Leblanc, H., Russo, R., Cueva, J. y Subía, E. 2006. Fijación de carbono en palma aceitera en la región Tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Tropical*. 2 (2): 197-202.

- Lin, Y.J., Liu, C.P. and Lin, J.C. 2002. Measurement of specific gravity and carbon content of important timber species in Taiwan. *Taiwan J. For. Sci.* 17(3): 291-299.
- Madrigal, J., Guijarro, M., Hernando, C., Díez, C. y Jiménez, E. 2006. Distribución de biomasa y fijación de carbono tras claros mecanizados intensos en regenerado post-incendio de "*Pinus pinaster*" Ait. (Monte "Fraguas", Guadalajara, España). *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales.* 15(2), 231-244.
- Masera, O. 1991. México y el Cambio Climático Global: un balance crítico. *Ciencia y Desarrollo.* 17: 100, 52-67.
- Masera, O. 1995. Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forests: Methodological Considerations and Results: *Interciencia* 20:6, 388-395.
- Masera, O., De Jong, B., Ricalde, I. y Ordóñez, A. 2000. Consolidación de la Oficina Mexicana para la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero. Reporte Final. INE-UNAM. México.
- Martínez, T., Martínez, M. y Díaz, Y. 2005. Biomasa y composición florística de la vegetación herbácea de zonas de ribera, su efecto en la captura de carbono. *Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural.* 2:875-881
- Medina, C. 1995. Fitodiversidad en relación al tamaño de fragmentos remanentes de matorral, en Linares, N.L. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. Linares, N.L. pp. 1-6.
- Mintzer, I.M. 1992. "Confronting Climate Change. Risk Implications and Responses". Cambridge, University Press, Cambridge.

- Montero, G., Muñoz, M., Donés, J. y Rojo, A. 2004. Fijación de CO<sub>2</sub> por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd., en los montes «Pinar de Valsaín» y «Matas de Valsaín». Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. 13 (2), 399-415
- Montoya, G., Soto, L., De Jong, B., Nelson, K., Farias, P., Pajal, T., Taylor, J. y Tipper, R. 1995. Desarrollo Forestal Sustentable: captura de carbono en las zonas Tzeltal y Tojolabal del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología. Cuadernos de Trabajo 4. México D.F. 50p.
- Návar, J., Cavazos, T. y Domínguez, P. 1994. Los balances hidrológicos mensuales con tres probabilidades de precipitación en el estado de Nuevo León. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra. U.A.N.L
- Návar, J., Méndez, E., Nájera, A., Graciano, J., Dale, V., Parresol, B. 2004. Biomass equations for shrub species of Tamaulipas Thoms scrub of North-eastern. México. Journal of Arid Environment. 59: 657-674.
- Olguín, M. 2001. Incorporación de la captura de carbono como propuesta de manejo forestal integral: estudio de caso en una comunidad de la meseta purépecha, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, México.
- Ordóñez, A. 1998. El modelo CO<sub>2</sub> Fix. Memorias del taller de metodologías para la evaluación de la captura de carbono en el área forestal. INE-SEMARNAP. México, D.F. pp. 19-20
- Ordóñez, A. 1998. "Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso para Bosque Templado: San Juan Nuevo, Michoacán". Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad de México.

- Ordóñez, D. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Instituto nacional de Ecología, SEMARNAP. Desarrollo gráfico editorial. México, D.F. 72p.
- Ordóñez, J., De Jong, B. y Masera, O. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. Madera y Bosques. 7(2):27-47.
- Pacheco, C., Aldrete, A., Gomez, A., Fierros, A., Centina-Alcala, V. y Vaquera, H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de un plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. Revista Fitotecnia Mexicana. 38(3):251-254.
- Peñuelas, J. y Lluisà, J. 2003. Emisiones biogénicas de COVs y cambio global ¿Se defienden las plantas contra el cambio climático?. Ecosistemas.1
- Pérez, P.G., Cordileone, V., Banegas, N., Toranzos, M. y Padilla, S. 2006. Cuantificación del carbono retenido en la biomasa aérea y subterránea de una formación de monte del chaco subhúmedo-semiárido. Memorias del 29° Congreso Argentino de Producción Animal. Buenos Aires, Argentina.
- Peri, P., Viola, M. y Martínez, G. 2004. Estimación de Biomasa y secuestro de carbono en bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) en Patagonia Sur. Publicación Técnica Forestal No 24, Convenio INTA-UNPA-CAP. Argentina.
- Petre, A., Ola, U., Ali, S. y Reynero, A. 2006. Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal, *Área Captura de Carbono*. Proyectos de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos N4085-AR.

Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Argentina.  
15 pp.

Ramírez, J., Velásquez, M., Amézquita, C., Castañeda, E. y Bacón, W. 2006. Producción de biomasa y captura de Carbono en bancos de proteína en la Amazonia Colombiana. *Pasturas Tropicales*, Vol. 28 No. 3.

Rodríguez, R. 1994. Análisis de la fitodiversidad (Sinusias: arbórea y arbustiva) de dos comunidades de matorral espinoso tamaulipeco en Linares, Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, U.A.N.L. Linares, N.L. 113 p.

Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa en bosques de tipo forestal siempreverde. Trabajo presentado en el Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile.

Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. 2000. Manual de Procedimientos: Muestreos de biomasa forestal. Proyecto Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D9811076. Valdivia – Chile. 26 pp.

Schneider, S.H. 1989. The greenhouse effect: Science and Policy. *Science*. 243(10): 271-281.

Schulze, E., Wirth, Ch. and Heimann, M. 2000. Managing Forest after Kyoto. *Science*. 289(5487): 2058-2059.

Schimel, D.S. 1995. Terrestrial Ecosystems and the Carbon Cycle. *Global Change Biology*, 1, 77-91.

- Schroeder, P. 1992. Carbon Storage Potential of short Rotation Tropical Tree Plantations. *Forest Ecology and Management*. 50; 31-41.
- Smaglik, P. 2000. United States Backs soil strategy in fight against global warming. *Nature*. 406: 549-550.
- Smith, T.M., Cramer, W.P., Dixon, R.K., Leemans, R., Neilson R.P. y Solomon, A.M. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution* 70, pp. 3-15.
- Steel, D. y Torrie, J. 1986. *Bioestadística: principios y procedimientos*. Ricardo Martínez B. (Traducción). Ed. Mc Graw – Hill. México, D. F. 622 p.
- TESAM S.A., CONAMA. 1996. *Metodologías para la caracterización de la calidad ambiental*. Santiago (Chile): Comisión Nacional del Medio Ambiente. 242 p.
- Thomas, S.C. and Malczewski, G. 2007. Wood carbon content of tree species in Eastern China: Interspecific variability and the importance of the volatile fraction *Journal of Environmental Management*. 85: 659-662
- Torres, C. 2002. Medición del carbono almacenado en el sotobosque de bosques del tipo forestal siempreverde, en la Cordillera de la Costa y Cordillera de los Andes. Informe Técnico. Universidad Austral De Chile, Proyecto FONDEF D98I1076. Valdivia, Chile.
- Treviño, J. 1997. Análisis de las contribuciones al conocimiento de la vegetación de Tamaulipas. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Tamps. México. 16 p.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 1995: "Decision 5/CP." 1 from the Conference of the Parties on its First Session, Held at Berlin from 28 March to 7 April 1995 Addendum (FCCC(CP/1995/7/Add.1).

Villalón, H. 1989. Ein Beitrag zur Verwertun von Biomasse produktion und deren Qualität für die forst-und landwirtschaftliche Nutzung des Matorrals in der Gemeinde Linares N.L., Mexiko. Tesis doctoral. Georg-August-Universität Göttingen. pp. 106-108.

Villegas, G. 1972. Tipos de vegetación de los municipios de Linares y Hualahuises, N.L. Tesis de Licenciatura. Escuela de Agricultura, Universidad de Guadalajara, México. 96 p.

Woerner, M. 1991. Los suelos bajo vegetación de matorral del noreste de México descritos a través de ejemplos en el Campus Universitario de la U.A.N.L., Linares, N.L. Reporte Científico No. 22. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. México. pp. 1-9.

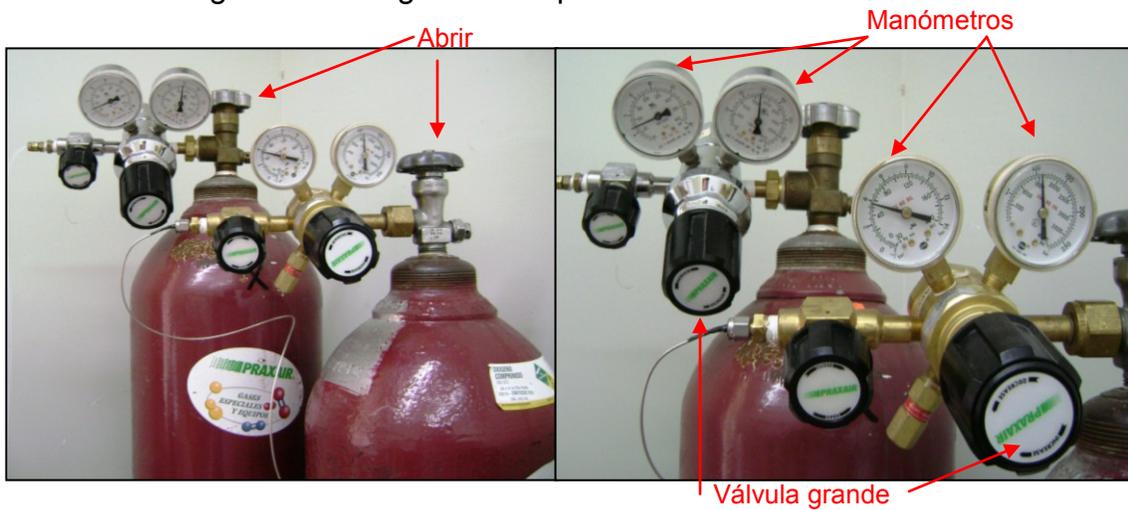
Woomer, P.L., Palm, C.A., Alegre, J., Castilla, C., Cordeiro, D.G., Hairiah, K., Kotto-Same, J., Moukam, A., Ricse, A., Rodriguez, V. and Noordwijk, M. 2000. Slash-and-burn effects on carbon stocks in the humid tropics. Edited by In: R. Lal , J.M. Kimble and B.A. Stewart .Global Climate Change and Tropical Ecosystems.: 99-115. CRC Press, Inc. Boca Raton, FLa. USA.

Zamora, C. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido "La Majada" municipio de Periban de Ramos, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología. Uruapan, Michoacán. 46pp.

## ANEXO

### PASOS PARA LA UTILIZACIÓN DEL APARATO SOLIDS TOC ANALYZER

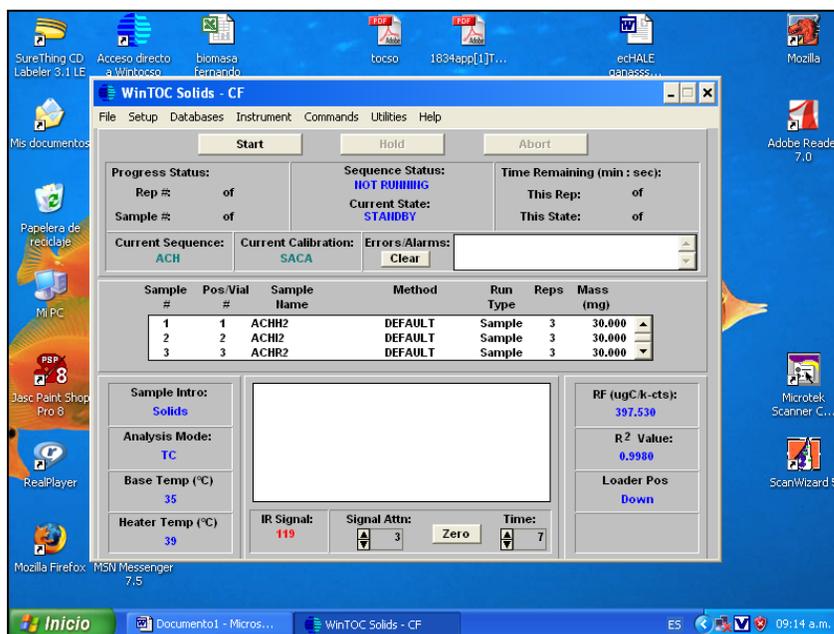
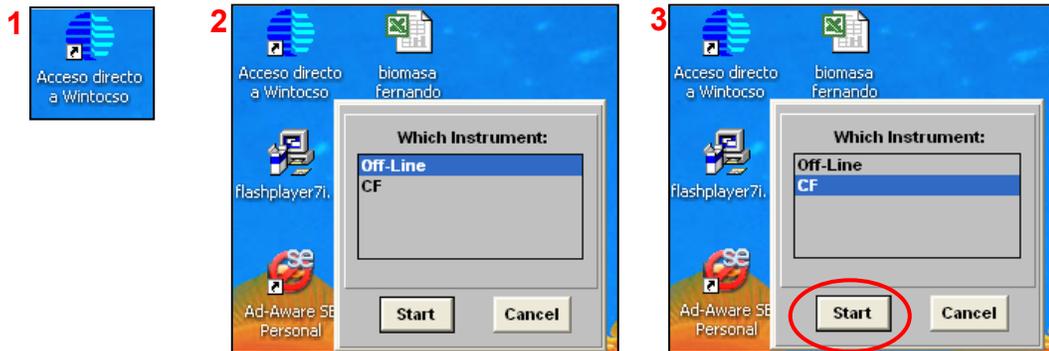
1. Encender el regulador.
2. Abrir los tanques y verificar la presión (el manómetro derecho es para el nivel del gas y el izquierdo de la presión), el nitrógeno debe estar entre 60 – 100 y oxígeno 40 – 60, si la presión no se encuentra entre estos valores se regula con la válvula grande del regulador de presión.



3. Encender primero el Solids Toc Analyzer (1) después su CPU (2), posteriormente el CPU (3) donde se encuentra el software.

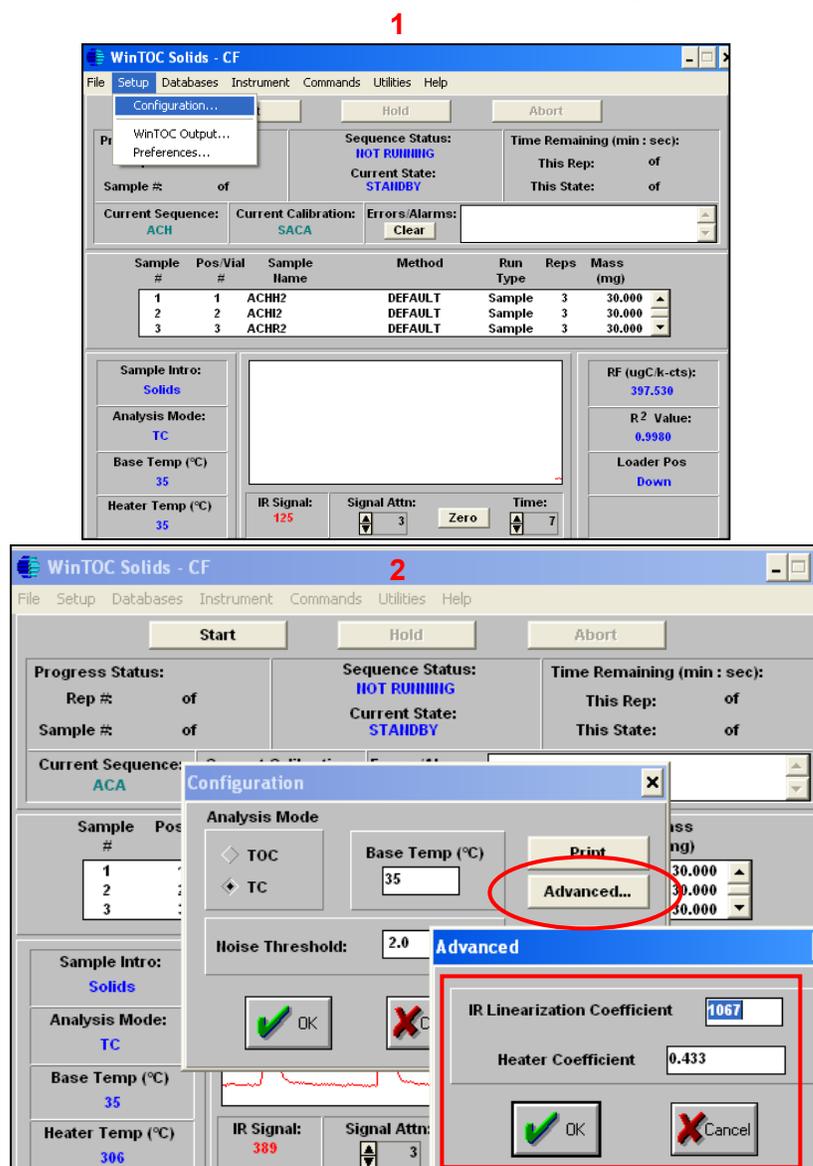


4. Abrir el programa que se encuentra en escritorio: Acceso directo a **Wintocso** (1), aparece un pequeño cuadro de dialogo con dos opciones Off Line y CF (2), se selecciona CF para trabajar en línea, si solamente se quiere ver los resultados guardados y no trabajar en línea se selecciona off line, ya elegida la opción se da un clic en Start (3).



## COEFICIENTES DE ANALISIS

5. La primera vez que se usa el equipo se tiene que verificar el IR Linearization Coefficient y el Heater Coefficient Setup que son coeficientes que el equipo tiene de la compañía, en la barra de trabajo se selecciona **Setup** de ahí **Configuration** (1) aparece un cuadro de dialogo se da un clic en Advanced, aparece otro cuadro de dialogo ahí debe de estar 1067 para IR Linearization Coefficient y 0.433 para Heater Coefficient Setup (2), si están correctos se oprime ok, si no están se corrigen, esta verificación solamente se hace una vez en todo el tiempo en que se va trabajar con el equipo, no se ocupa hacer diario porque estas cifras no cambien solas, solamente que alguien las modifique.



## ESTANDARIZACIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA SEÑAL DE INFRARROJO (IR SIGNAL)

6. Estando dentro del programa lo primero que se hace es subir la temperatura a 900 °C, se da un clic en la barra de trabajo en **Setup** se selecciona **Configuration** (1) aparece un cuadro de dialogo y en la temperatura base la cual debe estar en 35 °C (2) se modifica a 900 °C se oprime ok (3), la temperatura empieza a subir Heater temp (4) cuando ya está en los 900 °C se espera 5 minutos para que el aparato se estabilice (5).

The figure consists of four screenshots of the WinTOC Solids - CF software interface, numbered 1 through 4, illustrating the process of changing the temperature and IR signal.

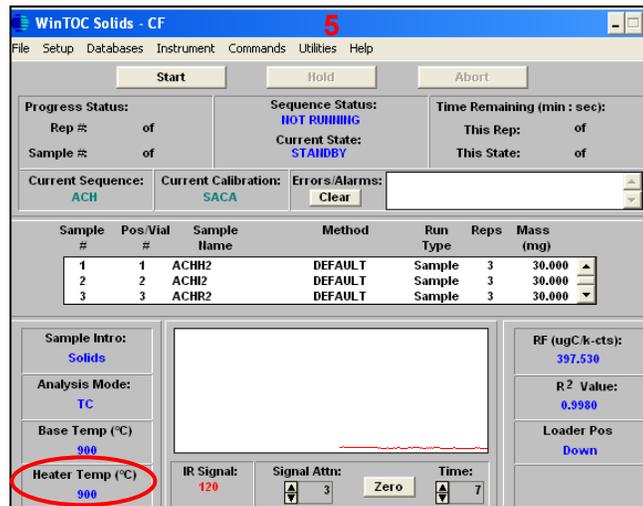
**Screenshot 1:** The 'Configuration' dialog box is open. The 'Base Temp (°C)' field is highlighted with a red circle and contains the value 35. The 'Heater Temp (°C)' field contains 35. The 'IR Signal' is 123.

**Screenshot 2:** The 'Configuration' dialog box is open. The 'Base Temp (°C)' field is highlighted with a red circle and contains the value 900. The 'Heater Temp (°C)' field contains 36. The 'IR Signal' is 123.

**Screenshot 3:** The 'Configuration' dialog box is open. The 'Base Temp (°C)' field is highlighted with a red circle and contains the value 900. The 'Heater Temp (°C)' field contains 38. The 'IR Signal' is 123.

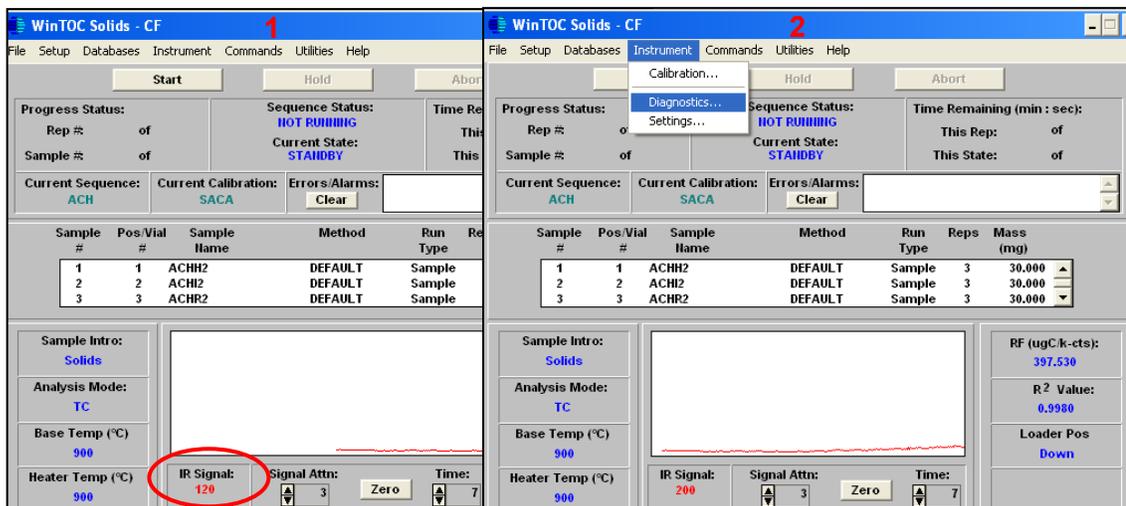
**Screenshot 4:** The 'Configuration' dialog box is open. The 'Heater Temp (°C)' field is highlighted with a red circle and contains the value 37. The 'Base Temp (°C)' field contains 900. The 'IR Signal' is 120.

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.



7. Hay que verificar que la señal de infrarrojo (**IR Signal**) este dentro del rango de 200 – 500 cuentas (counts) se puede buscar la media que es 350 aproximadamente, la cual es la recomendada para trabajar, si la señal es baja (1) entonces se selecciona de la barra de trabajo **Instrument > Diagnostic** (2) aparece un cuadro de dialogo con las opciones **Carrier Valve** se da un clic en off y en **Loader Valve** en down (3), aparece on y up respectivamente (4), se espera entre 15 y 30 minutos o 1 hora, hasta que la IR Signal sea la deseada y se da un clic en on y up vuelve aparecer off y down por ultimo se da un clic en ok (5).

En caso de que no suba la señal entonces en el aparato Solids Toc Analyzer en la parte trasera abajo hay dos orificios (6) en uno dice **Gain** (no se debe de mover por que se desprograma el aparato) y en el otro **Offset** dentro de este se encuentra un tornillo se introduce el desarmador especial (7) dándole vuelta hacia donde la flecha indica si queremos aumentar y disminuir al lado contrario.

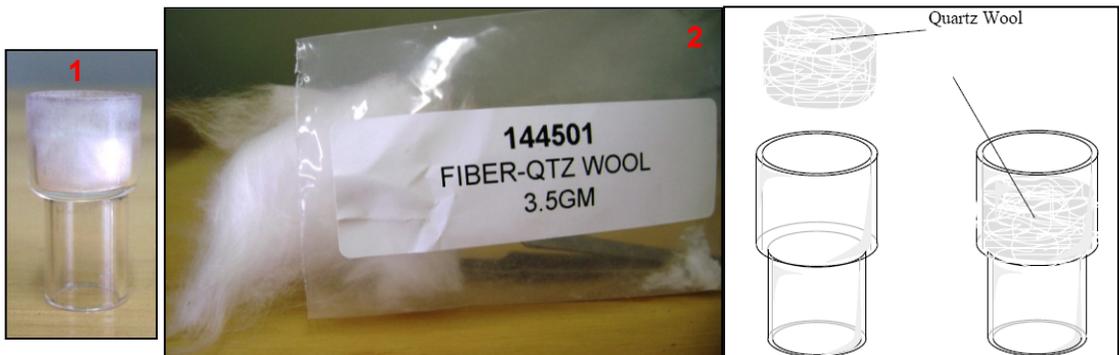


Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

The figure displays three screenshots of the WinTOC Solids - CF software interface, numbered 3, 4, and 5, illustrating the configuration of the 'Diagnostics' window. In screenshot 3, the Carrier Valve is set to OFF and the Loader Valve is set to Down. In screenshot 4, the Carrier Valve is set to ON and the Loader Valve is set to Up. In screenshot 5, the Carrier Valve is set to OFF, the Loader Valve is set to Down, and the IR Signal is set to 355. A physical control panel with 'GAIN' and 'OFFSET' knobs and a blue pen are also shown.

## PREPARACION DE COPAS

Se debe de acondicionar todas las copas que se van a utilizar en el transcurso del día, cada copa (1) debe rellenarse de fibra de cuarzo hasta la mitad aproximadamente (2) con ayuda de las pinzas para la fibra (3) (se debe utilizar cubre bocas (4) para evitar inhalar las fibras)

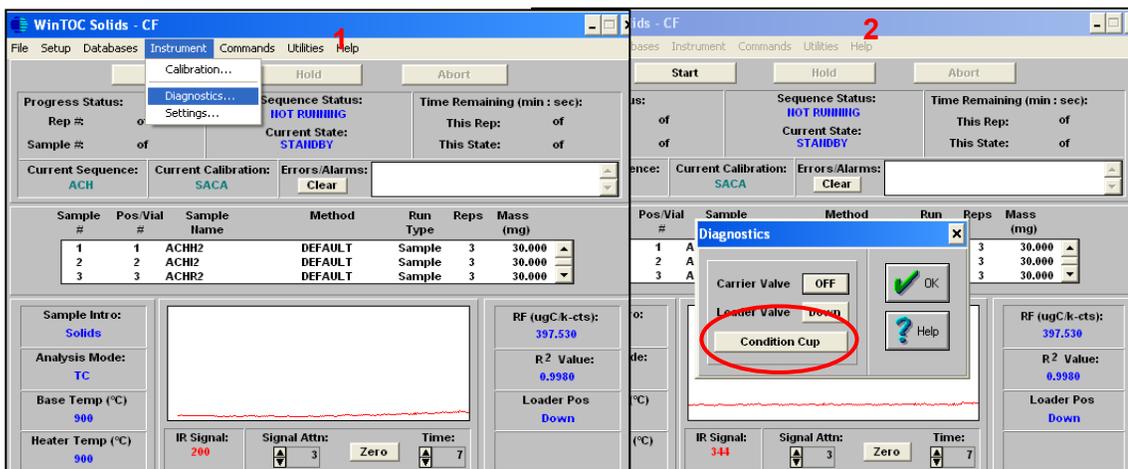




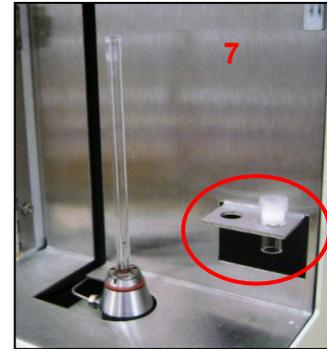
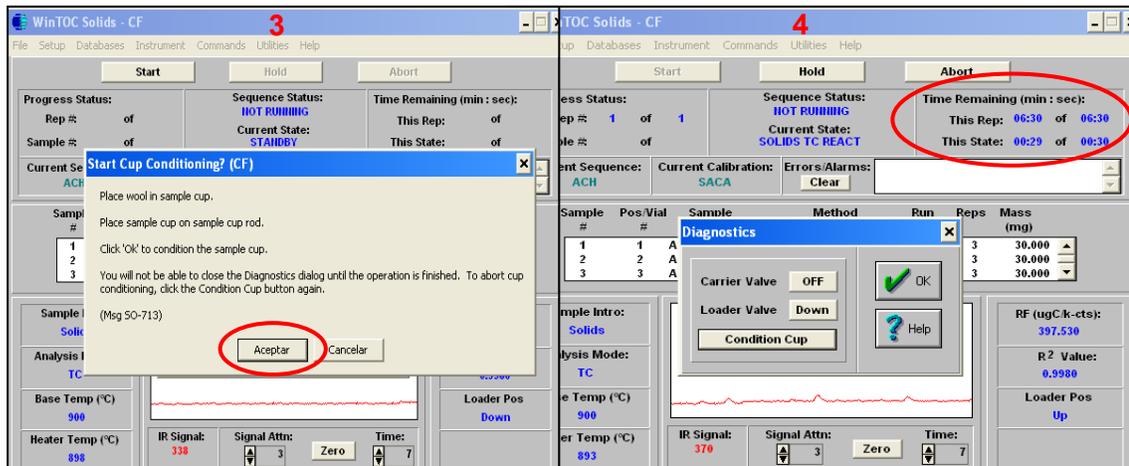
### Lavado de copa

Una vez utilizadas las copas se les quita la fibra de cuarzo sobrante, se ponen en Ácido clorhídrico al 5 % (el lado de la copa donde se pone la muestra es la importante que se limpie) hasta el día siguiente (no se deben de dejar más de tres días) se enjuagan con agua destilada se secan y están listas para volver a ser utilizadas.

8. Ya que se tiene la señal de infrarrojo deseada se selecciona, en la barra de trabajo **Instrument** de ahí Diagnostic (1) aparece un cuadro de dialogo en donde se da un clic en **Condition Cup** (2) sale otro cuadro de dialogo se escoge aceptar (3), cada condicionamiento dura 6.3 minutos (4), posteriormente se pone una copa preparada en el tubo de cuarzo (5), del aparato con ayuda de la pinza para copa(6) cuando termina, la copa se retira con las pinzas para copas colocándola en la base (7) que se encuentra en el aparato para que se normalice su temperatura luego se pone la copa que sigue y así simultáneamente.



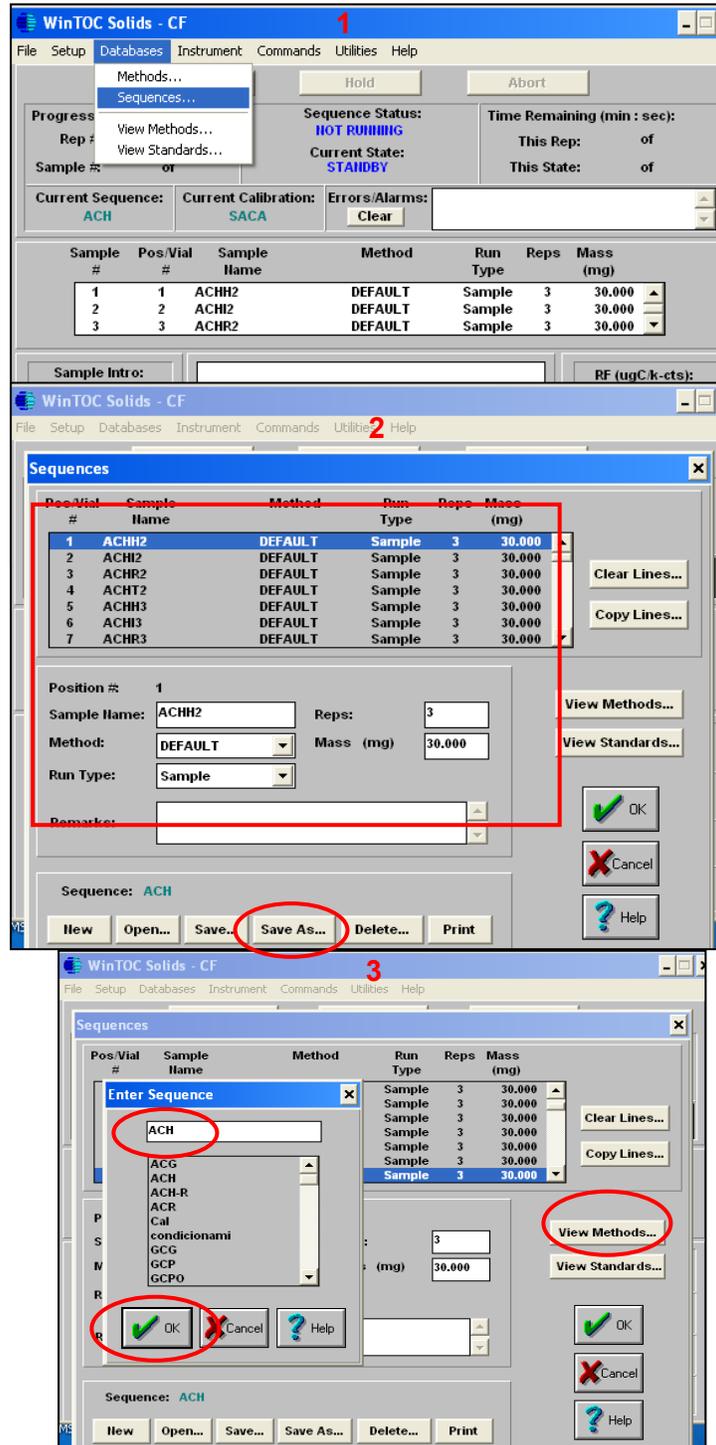
## Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.



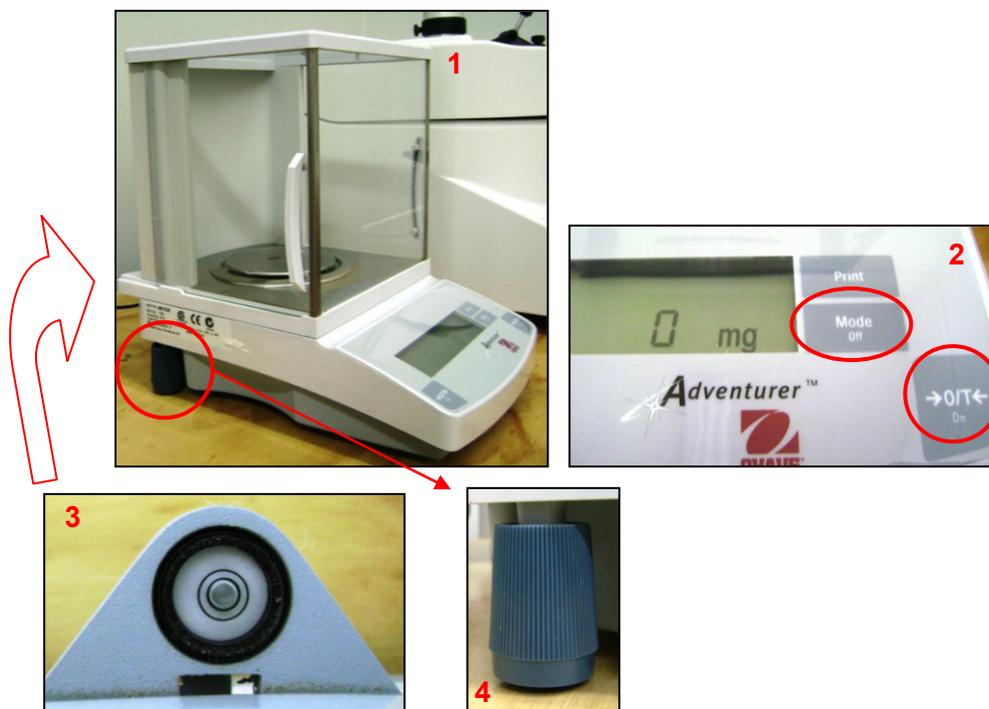
### PROGRAMACION DE SECUENCIA

Programar la secuencia en la que se va a trabajar, en la barra de trabajo se selecciona **Database** de ahí **Sequence** (1) aparece un cuadro de dialogo (2) donde se programa el numero de muestras a trabajar, a cada una se le asigna el Name sample (nombre de la muestra), Method se escoge el Default, Run Type: sample, el número de repeticiones (Reps): 3 (para que genere un resultado promedio), peso de la muestra (Mass): 30.00, se guarda la secuencia en Save As aparece un cuadro de dialogo (3) se la asigna cualquier nombre con el que se pueda identificar posteriormente, se oprime ok en el otro cuadro de igual manera ok.

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

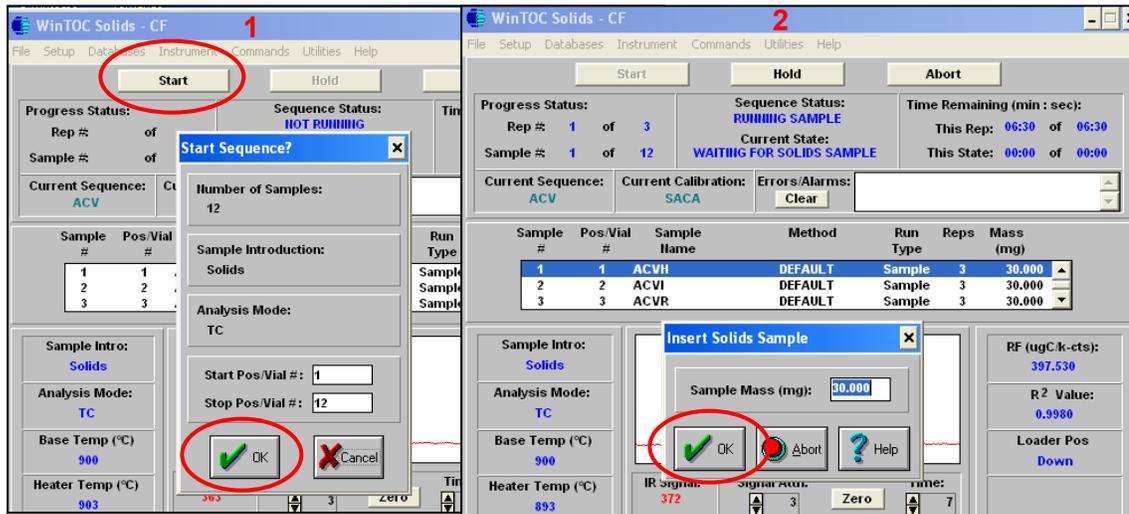


Previamente molida la muestra se debe poner en la copa preparada 30 mg de muestra con ayuda de la balanza electrónica (1), esta se prende en **On** aparece en gramos se cambia a miligramos oprimiendo **Mode** (2), se verifica atrás de la balanza que este nivelada la burbuja debe estar en medio (3), si no está, se nivela girando los soportes (4) de la balanza, se pone la copa dentro de la balanza y se oprime On para que se ponga en cero para poder pesar los 30 mg dentro de la copa.



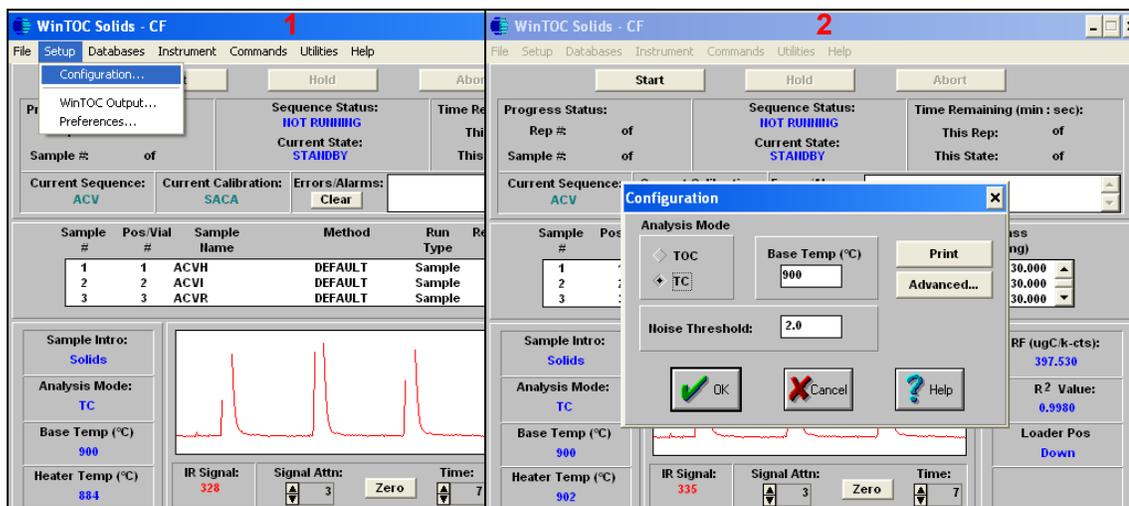
**10.** Una vez ya registrada la secuencia que se va a trabajar con las copas listas ya con las muestras, se pone la primera copa en el tubo de cuarzo del aparato con las pinzas para copas, en el programa se selecciona Start (1) aparece un cuadro de dialogo para confirmar el numero de muestras, tipo de muestra, modo del análisis, el numero de la muestra de donde inicia y termina la secuencia, si es correcto se oprime ok, después aparece otro para confirmar el peso de la muestra (Mass) de igual manera ok (2), este segundo siempre va aparece antes de meter una muestra ya iniciada la secuencia, cuando se termine de quemar la muestra (6.3 minutos dura el procesó) la copa se retira con las pinzas para copas colocándola en la base que se encuentra en el aparato para que se normalice su temperatura, luego se pone la copa que sigue y así simultáneamente. Después de realizar todo el procedimiento de análisis las copas que ya hayan tomado su temperatura normal se les extrae los restos de la muestra quemada con las pinzas para la fibra ya sea raspándole o quitándole pequeñas porciones, así estas copas se pueden utilizar varias veces para quemar mas muestras sin necesidad de volver a limpiarlas, ponerles fibra de cuarzo y acondicionarlas en el transcurso del día.

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

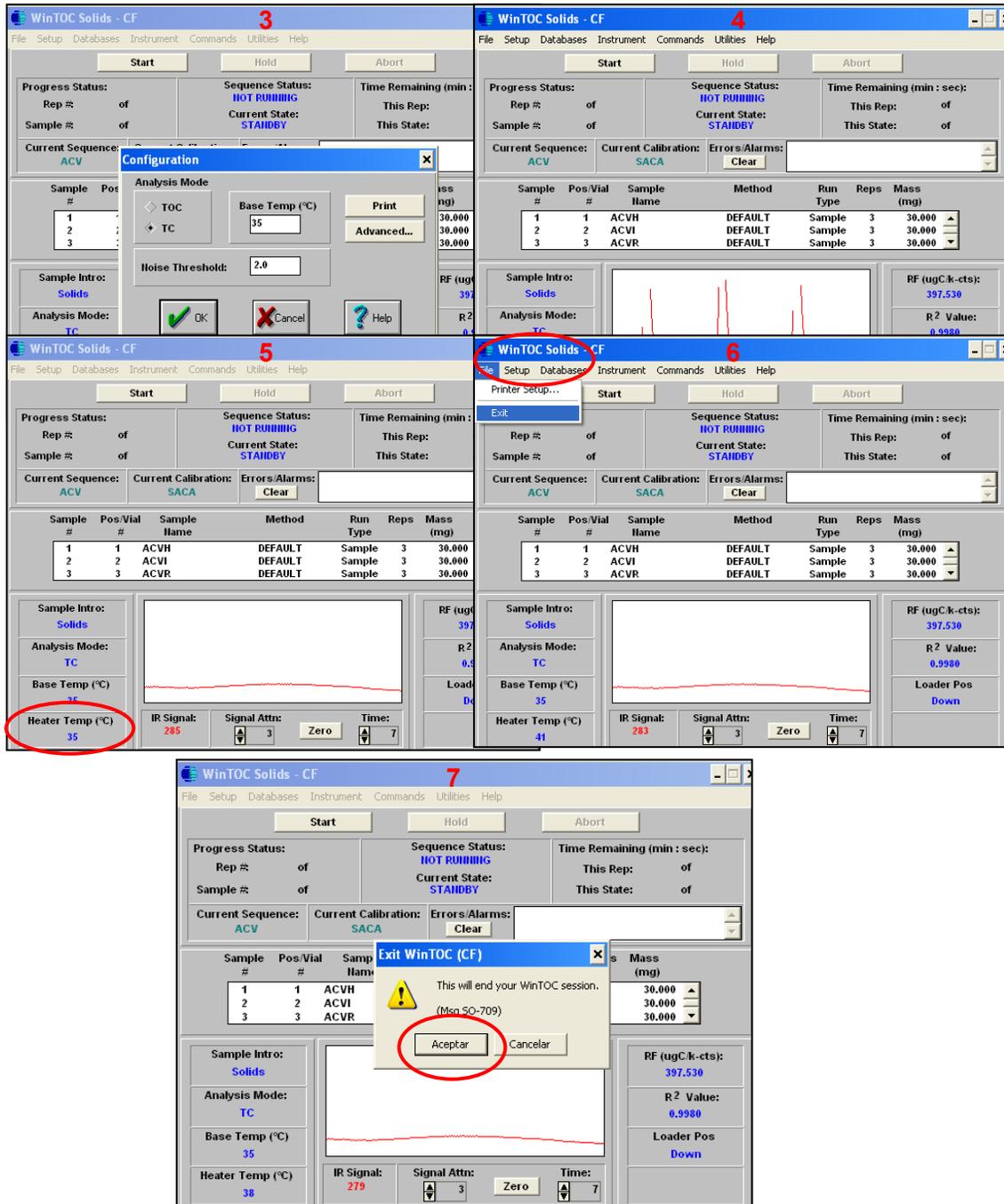


## APAGADO DEL EQUIPO

Cuando se acaba de trabajar se da un clic en **Setup** (1) se selecciona **Configuration** aparece un cuadro de dialogo (2) en la temperatura base la cual debe estar en 900 °C se modifica a 35 °C se oprime ok (3), automáticamente se activa el abanico del aparato la temperatura empieza a bajar (4), hasta que llegue a 35 °C (5) se puede cerrar el programa, en **File** se escoge **Exit** (6) aparece un cuadro de dialogo para confirmar que si se quiere terminar la sesión se escoge Aceptar (7), se apaga el CPU donde está el software, después el CPU del aparato, luego el Solids Toc Analyzer se cierran los tanques y por último el regulador.



Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.



## VISTA DE RESULTADOS

12. Para ver los resultados, en la barra de trabajo en **Utilities** se selecciona **View Run Log** (1) aparece un cuadro de dialogo en el Nombre del Archivo se escoge Corrida.log se da un clic en Aceptar (2), aparecen todos los resultados de las secuencias realizadas (3), se busca el nombre de la secuencia requerida se le da un clic a esta (4) de ahí a Results otro clic y se muestran los resultados.

Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

The figure consists of four numbered screenshots illustrating the WinTOC Solids software workflow:

- WinTOC Solids - CF (1):** The main interface with the 'Utilities' menu open, highlighting 'View Run Log...'. The 'Progress Status' shows 'Rep #: 2 of 3' and 'Sample #: 10 of 12'. A table of samples is visible:
 

Sample #	Pos/Vial #	Sample Name	Calibration	Sample
9	9	ACA3	DEFAULT	Sample 3
10	10	ACA3	DEFAULT	Sample 3
11	11	ACAR3	DEFAULT	Sample 3
- WinTOC Solids - CF (2):** The 'Open Log File' dialog box is shown, with 'CORRIDA.LOG' selected in the file list. The 'Aceptar' button is circled in red.
- OI Viewer - CORRIDA (3):** The 'Run Setup' window displays configuration details:
 

```

      *****
      ** OI Analytical SOLIDS TOC **
      ** RUN SETUP **
      *****
      Operator: Rodrigo
      Data Path: C:\ARCHIV-1\OIANAL-1\TOCREP-1\DATASO\Analisis
      WinTOC Version: 3.0
      Firmware Version: 3.0

      *****
      ** CONFIGURATION **
      *****
      Analysis Mode: TC Base Temp : 900 OC
      Sample Intro : Solids Noise Threshold: 2.0

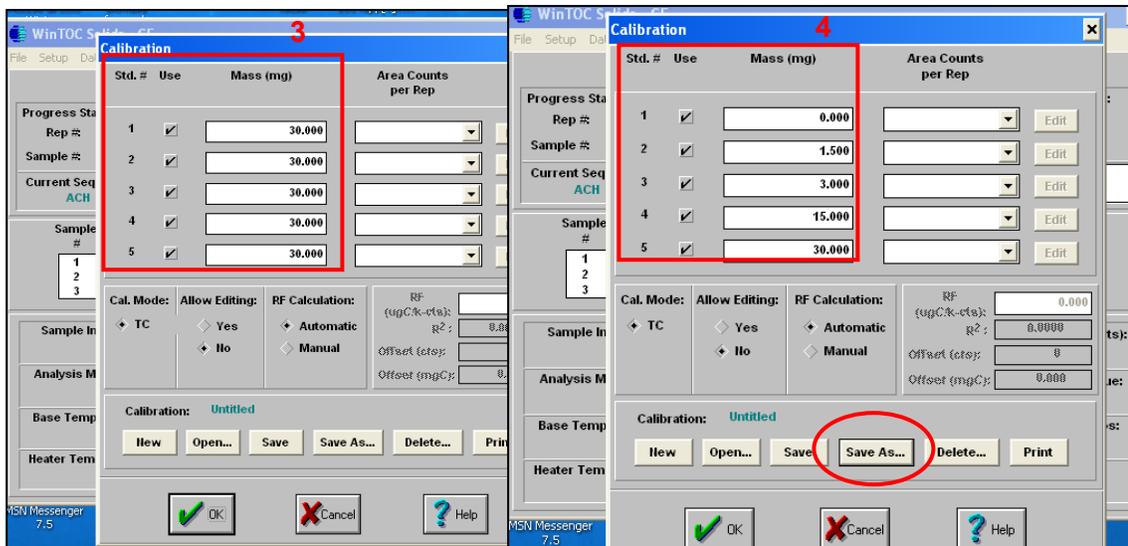
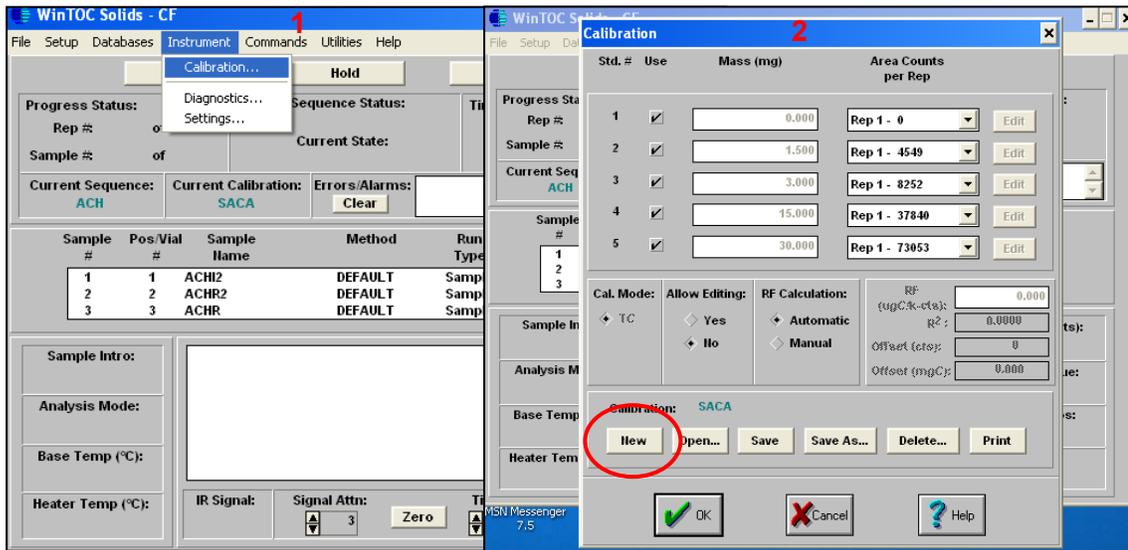
      *****
      ** CALIBRATION **
      *****
      SACA Thu Apr 24 09:13:58 2008

      *****
      ** METHODS **
      *****
      DEFAULT Wed Oct 27 09:13:04 2004
      
```
- OI Viewer - CORRIDA (4):** The 'RESULTS - ACH' window displays a table of sample results:
 

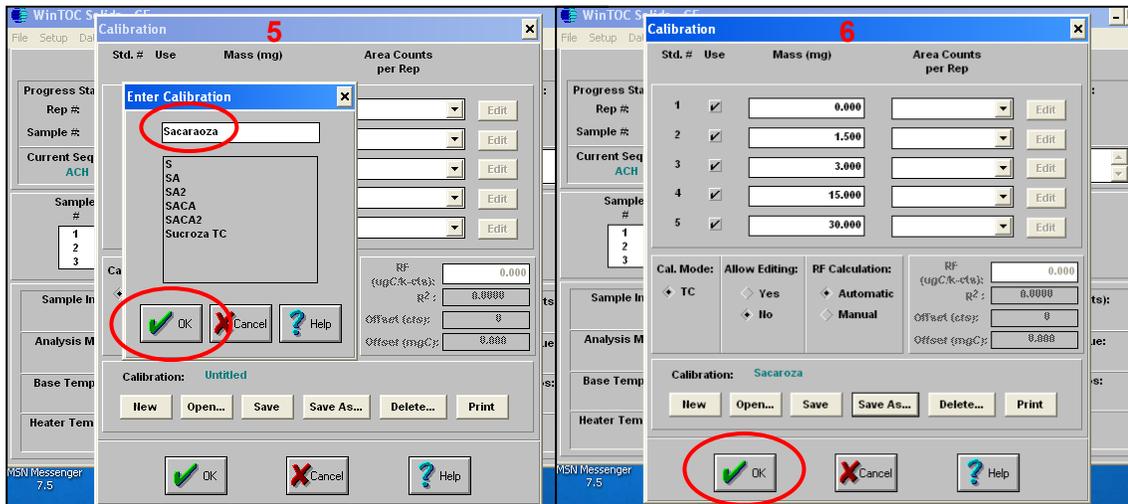
Rep	Datafile	Date	Time	Sample Size (mg)	TC Area (cts)	TC Mass (mgC)	TC Conc (% Carbon)	TOC Area (cts)	TOC Mass (mgC)	TOC Conc (% Carbon)	
1	xx843	21Apr2008	14:58	30.000	37389	14.863	49.54	-	-	-	
2	xx843	21Apr2008	15:05	30.000	37518	14.914	49.71	-	-	-	
3	xx843	21Apr2008	15:12	30.000	35515	14.118	47.06	-	-	-	
Avg							-	-	48.77	-	-

## Calibración del equipo

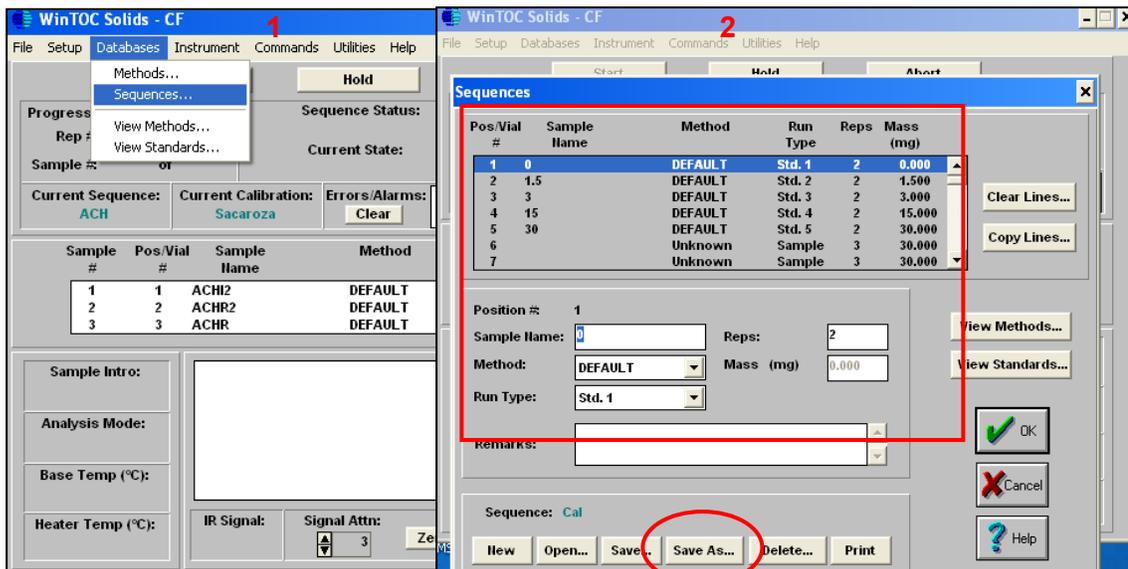
1. En la barra de trabajo se selecciona **Instrument** de ahí **Calibration** (1), aparece un cuadro de dialogo con la ultima calibración que se utilizo (2) se le da un clic en New para programar una nueva, automáticamente aparece en los cuadros de la masa (mg) el número 30.000 en todos los standares que en total son cinco (3), en estos se tecla la siguiente masa: en el Std. 1 = 0.000, Std. 2 = 1.500, Std. 3 = 3.000, Std. 4 = 15.000, Std. 5 = 30.000, se guarda en Save As (4), aparece un cuadro de dialogo se le pone el nombre que se le quiera dar a la calibración se oprime ok (5), al otro cuadro de dialogo también ok (6).



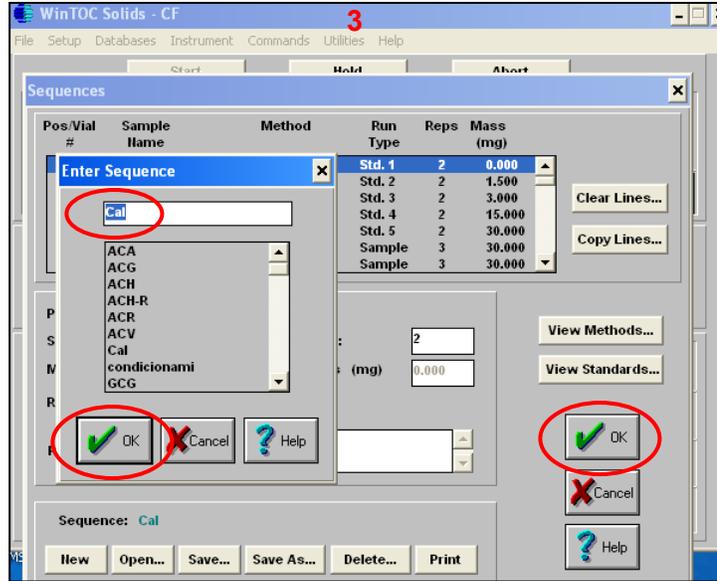
Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.



2. Se programa la secuencia para la calibración en la barra de trabajo se selecciona **Database** de ahí **Sequence** (1) aparece un cuadro de dialogo (2) donde se va programar el numero de muestras a trabajar, a cada una se le asigna el Name sample (nombre de la muestra), Method se escoge el Default, Run Type: para el primero se escoge Std. 1 al segundo Std. 2, así hasta el quinto, el número de repeticiones (Reps): 2, peso de la muestra (Mass): para el Std. 1 = 0.000, Std. 2 = 1.500, Std. 3 = 3.000, Std. 4 = 15.000, Std. 5 = 30.000, se guarda la secuencia en Save As aparece un cuadro de dialogo (3) se le asigna cualquier nombre que se pueda identificar posteriormente, se oprime ok, en el otro cuadro de igual manera ok, se empieza la secuencia de la calibración siguiendo los mismos pasos anteriormente explicados, en cada muestra se va calculando la  $R^2$  hasta que se acaba la secuencia dando la  $R^2$  final, la cual se recomienda que sea de 0.998 en adelante (leer el manual y el artículo Solids TOC Analysis of Soils, Wood Fibers and Marine Sediment para mayor comprensión del proceso de calibración).



Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

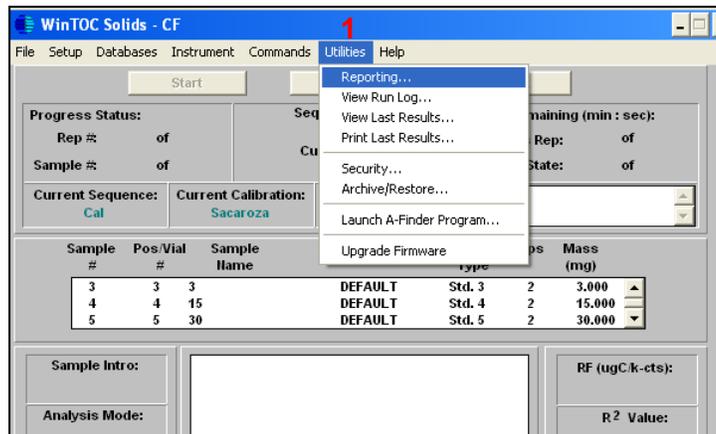


3. Para la calibración se utiliza sacarosa, mediante micropipetas se pone la cantidad de sacarosa correspondiente para cada muestra, en la tabla 2 se muestran las equivalencias para cada uno de las masas programadas para procesar.

Table 2. Sucrose Volume Needed to Determine an Organic Carbon Mass

Mass of Organic Carbon (mg)	Volume of 30% Sucrose (µL)
1.5	5.0
3.0	10.0
15.0	50.0
30.0	100.0

4. Para observar la curva de calibración en la barra de trabajo en **Utilities** se escoge **Reporting** (1), aparece un cuadro de dialogo se le da un clic en Open Calibration (2) aparece otro cuadro de dialogo ahí se escoge Solids (3) se da un clic en ok, aparece otro cuadro de dialogo se escoge el nombre de la calibración que se desea abrir se oprime ok (4) y aparece la curva de calibración (5).



Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso histórico, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

