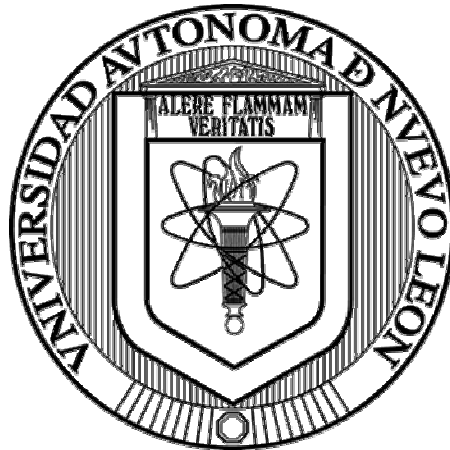


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**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**

TÉSIS DE MAestrÍA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA
ING. JOSÉ ANISETO DÍAZ BALDERAS**

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

**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**

TÉSIS DE MAESTRÍA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA
ING. JOSÉ ANISETO DÍAZ BALDERAS

COMITÉ DE TESIS



Dr. Javier Jiménez Pérez

Director



Dr. Oscar A. Aguirre Calderón

Asesor



Dr. Horacio Villalón Mendoza

Asesor

DEDICATORIA

A mi esposa Alicia Margarita Gutiérrez González y a mis hijos José Alfonso y Jaqueline Miroslava Díaz Gutiérrez, por brindarme todos esos momentos de dicha y felicidad. Este logro también es de ustedes.

A mis padres José Aniceto y María del Consuelo por darme la vida, por sus incansables sacrificios y por su infinito esfuerzo para hacer de mí lo que ahora soy. Por sus innumerables consejos y por darme la mejor herencia que puede existir: mi profesión.

A mis hermanos Rolando, María Guadalupe, Francisca y José de Jesús por el apoyo que siempre me han manifestado en cada una de mis metas.

A mis sobrinos Javier Darío, Kevin A., Jordy A., Devin, Nevin, Alder, Angel, Alondra, y Johan.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme los dones más grandes que pueden existir: la vida, salud y una familia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias Forestales.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y a la Facultad de Ciencias Forestales por permitirme la oportunidad de formar parte del Programa de Maestría en Ciencias Forestales

Al proyecto de investigación del fondo sectorial CONACYT – CONAFOR – 2005 – CO2 - 14660 Análisis Estructural de los Ecosistemas de *Pinus cembroides* y su Aprovechamiento en el Estado de Nuevo León

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, director de esta investigación, por su confianza, profesionalismo, dedicación, disponibilidad y apoyos en la dirección del presente trabajo de investigación; tanto en el trabajo de campo, de laboratorio y la revisión del presente escrito.

Al Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón por formar parte de este comité de tesis y por sus valiosas contribuciones y disponibilidad de materiales y equipo para el trabajo de campo y laboratorio.

Al Dr. Horacio Villalón Mendoza por aceptar formar parte del comité de esta tesis, por su amistad, confianza y valiosos comentarios para el presente trabajo, así como en los cursos que me impartió.

Al Dr. Humberto González Rodríguez por su valiosa colaboración y apoyo en el diseño experimental de la información.

A los profesores-investigadores de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, de los que recibí cátedras en las diferentes áreas forestales.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, especialmente a la Subdirección de Postgrado.

A Claudio Castillo por su apoyo en los aspectos de logística en las salidas a campo y en los trabajos de laboratorio.

A Juany Castillo por su amable desempeño y disponibilidad en la biblioteca.

A mis compañeros de generación Ing. Eliúd Morales Mateos, Ing. Gabriel Cabrera y al hoy Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna por su invaluable ayuda en el trabajo de campo, así como en el trabajo de laboratorio.

A mis amigos y compañeros de la generación Humberto Hernández G., Rolando Orozco C., Raúl Espinosa Bretado, Eliúd Morales Mateos, Gabriel Cabrera, Dorian de Jesús, Eduardo Alanís, Juan Luís Ruiz, María Rafaela, Felipa de Jesús, Olga Lidia y Graciela, por los buenos momentos dados en el afán de alcanzar esta meta, por su valiosa amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CONTENIDO	i
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	iv
RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
2.3 Hipótesis.....	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1 Cambio climático	6
3.2 Protocolo de Kyoto	8
3.3 Mercados del carbono	9
3.4 Los bosques como sumideros de carbono	10
3.4.1 Contenidos de carbono en la biomasa aérea de las especies forestales	13
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
4.1 Localización.....	17

4.2 Suelo	17
4.3 Clima	18
4.4 Vegetación	18
4.5 Metodología de campo	18
4.5.1 Tamaño de la muestra.....	18
4.5.2 Colecta de las muestras	20
4.6 Metodología de laboratorio.....	21
4.7 Análisis estadístico.....	22
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1 Análisis de CT (%) entre especies y entre componentes	26
5.1.1 CT (%) entre las especies	26
5.1.2 CT (%) por componente por especie.....	28
5.2 Análisis del CT (%) por grupo de especies.....	30
5.2.1 CT (%) entre grupo de especies.....	30
5.2.2 CT (%) entre los componentes de la biomasa aérea de los grupos de especies	31
5.2.3 CT (%) entre los componentes de las coníferas.....	33
5.2.3.1 CT (%) en los componentes de coníferas	34
5.2.3.2 CT (%) en <i>Pinus pseudostrobus</i>	36
5.2.3.3 CT (%) en <i>Juniperus flaccida</i>	37
5.2.4 CT (%) entre los componentes de las latifoliadas	38

5.2.4.1 CT (%) en los componentes de latifoliadas	40
5.2.4.2 CT (%) entre los componentes de <i>Quercus rysophylla</i>	41
5.2.4.3 CT (%) entre los componentes de <i>Quercus canbyi</i>	42
5.2.4.4 CT (%) entre los componentes de <i>Quercus laceyi</i>	43
5.2.4.5 CT (%) entre los componentes de <i>Arbutus xalapensis</i>	44
5.3 CT (%) en el fuste de las especies en estudio	45
5.3.1 CT (%) en el fuste de <i>Pinus pseudostrobus</i>	45
5.3.2 CT (%) en el fuste de <i>Juniperus flaccida</i>	46
5.3.3 CT (%) en el fuste de <i>Quercus rysophylla</i>	47
5.3.4 CT (%) en el fuste de <i>Quercus canbyi</i>	48
5.3.5 CT (%) en el fuste de <i>Quercus laceyi</i>	49
VI. CONCLUSIONES	51
VII. RECOMENDACIONES	53
VIII. LITERATURA CITADA.....	54

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Página

Cuadro 1: Número de muestras por especie y por componente aéreo	19
Cuadro 2. Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para CT por especie	27
Cuadro 3. Comparación de medias Tukey para el porcentaje de CT en los componentes de la biomasa aérea de las especies.	29
Cuadro 4. Comparación de medias Tukey para CT por componente de los grupos de especies del bosque de pino – encino.....	32
Cuadro 5. Comparación de medias Tukey para CT entre los componentes de las especies de coníferas del bosque de pino – encino	34
Cuadro 6. Comparación de medias Tukey para CT por componente de las coníferas del bosque de pino – encino	35
Cuadro 7. Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie <i>Pinus pseudostrobus</i>	36
Cuadro 8. Comparación de medias Tukey para CT entre los componentes de las especies de latifoliadas.....	39
Cuadro 9. Comparación de medias Tukey para CT por componente de las latifoliadas del bosque de pino – encino.....	40
Cuadro 10. Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie <i>Quercus rysophylla</i>	41
Cuadro 11. Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie <i>Quercus canbyi</i>	42
Cuadro 12. Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie <i>Quercus laceyi</i>	43
Cuadro 13. Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie <i>Arbutus xalapensis</i>	45

Figura 1. Ubicación del Bosque-Escuela (Facultad de Ciencias Forestales UANL).....17

Figura 2. Representación esquemática de los componentes de la biomasa aérea.....20

Figura 3. Gráfica de la recta de calibración con el estándar de sacarosa al 30 % y con un R^2 de 0.999..... 22

Figura 4. Porcentaje de CT promedio por especie..... 27

Figura 5. Porcentaje de CT promedio por componente por especie..... 28

Figura 6. Porcentaje de CT promedio por componente por grupo de especie en el bosque de pino – encino..... 33

Figura 7. Porcentaje de CT promedio entre los componentes de las especies de coníferas.....34

Figura 8. Porcentaje de CT promedio por componente del grupo de especies coníferas del bosque de pino – encino..... 35

Figura 9. Porcentaje de CT promedio por componente en *Pinus pseudostrobus*.
.....37

Figura 10. Porcentaje de CT promedio por componente en *Juniperus flaccida*... 38

Figura 11. Porcentaje de CT entre los componentes de las especies de latifoliadas.....39

Figura 12. Porcentaje de CT promedio por componente del grupo de especies latifoliadas del bosque de pino – encino.....41

Figura 13. Porcentaje de CT promedio por componente de la especie *Quercus rysophylla*.....42

Figura 14. Porcentaje de CT promedio por componente de la especie *Quercus canbyi*.....43

Figura 15. Porcentaje de CT promedio por componente de la especie *Quercus laceyi*.....44

Figura 16. Porcentaje de CT promedio por componente de la especie *Arbutus xalapensis*..... 45

Figura 17. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Pinus pseudostrobus*.....46

Figura 18. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Juniperus flaccida*.....47

Figura 19. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Quercus rysophylla*.....48

Figura 20. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Quercus canbyi*.....49

Figura 21. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Quercus laceyi*..... 50

RESUMEN

Se analizó el contenido de carbono total (CT) por unidad de biomasa base peso seco en los componentes de la biomasa aérea de las especies representativas del ecosistema bosque de pino – encino, en la Sierra Madre Oriental. Los componentes de la biomasa aérea analizados son fuste, ramas, corteza y hojas de las especies *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus laceyi*, *Q. rysophylla*, *Q. canbyi* y *Arbutus xalapensis*; también se analizó el contenido de carbono total a lo largo del fuste de cada una de estas especies, así como por grupos de especies (coníferas y latifoliadas) y en sus componentes. Se tomó una muestra en cada componente de la biomasa aérea de un individuo de cada categoría diamétrica presente en las especies, así como a 0.30 m, 1.30 m, y de aquí en adelante a cada dos metros a lo largo del fuste. El contenido de CT expresado como porcentaje de la biomasa base peso seco, se determinó con un equipo analítico que analiza los contenidos de CT en muestras sólidas mediante la combustión completa. Para el contenido de CT entre componentes, especies y entre los componentes por especie, se realizó un ANOVA mediante un diseño experimental factorial 6 x 4, donde el primer factor tiene seis niveles, las especies, y el segundo presentó cuatro, los componentes; resultando 24 interacciones de tratamientos; mientras que para grupos de especies se realizó mediante un diseño factorial 2 x 4, donde en el primer factor hay dos niveles, los grupos de especies y en el segundo, cuatro, los componentes; resultando 8 interacciones de tratamientos. Si se presentó significancia en algún factor en la prueba anterior, se realizó un ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio. Para grupos de especies se efectuó una comparación de medias aritméticas a través de una prueba de “t” ($\alpha= 0.05$) por grupos; para el contenido de CT a lo largo del fuste se llevó a cabo un ANOVA completamente aleatorio por especie, donde se determinó como tratamiento cada una de las secciones (alturas) del fuste. Si se encontró significancia en el ANOVA completamente aleatorio, se realizó un análisis de comparación de medias, a través de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Para el ANOVA factorial 6 x 4 se observó una alta significancia en cada

uno de los factores, así como una alta significancia en la interacción; mientras que en el ANOVA completamente aleatorio para especies y para componentes, se encontró que las diferencias son altamente significativas en cada uno de éstos. La especie con mayor contenido de CT es *J. flaccida* (51.18 %), mientras que *Q. rysophylla* es la de menor contenido de CT (47.98 %); el componente con mayor contenido de CT es, hojas de *Arbutus xalapensis* (55.05 %) y el de menor contenido de CT fue corteza de *Q. laceyi* (43.65 %). En los componentes de la biomasa aérea de *P. pseudostrobus* se encontró diferencias altamente significativas, donde el componente con mayor contenido de CT es la corteza (51.82 %) y el de menor contenido es el fuste (49.23 %); en *J. flaccida*, no se encontraron diferencias significativas entre los componentes de la biomasa aérea; mientras que para *Q. rysophylla* se encontraron diferencias altamente significativas, el componente con mayor contenido de CT son las hojas (50.69 %) y el de menor contenido es la corteza (44.42 %); en *Q. canbyi* sólo se encontraron diferencias significativas, el componente hojas es el de mayor contenido (50.41 %) y la corteza el de menor (48.12 %); *Q. laceyi* presentó diferencias altamente significativas, donde el componente hojas es el de mayor contenido (51.10 %) y la corteza el de menor (43.65 %); y para *Arbutus xalapensis* se encontraron diferencias altamente significativas, el componente hojas presentó el mayor contenido de CT (55.05 %), mientras que la corteza fue el de menor contenido (47.32 %). Para contenido de carbono promedio por grupo de especies, se observó diferencias altamente significativas; donde el grupo coníferas presentó un promedio de 50.76 %, mientras que el de latifoliadas fue de 48.85 %. Para componentes por grupo de especies se encontraron diferencias altamente significativas, donde el componentes corteza de coníferas con 51.90 % fue el de mayor contenido en comparación con el componente corteza de latifoliadas con 45.75 % que fue el más bajo. Para contenido de carbono a lo largo del fuste no se encontró significancia entre los tratamientos en ninguna de las especies.

Palabras clave: Contenido de carbono, biomasa aérea, especies, bosque de pino-encino, *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus rysophylla*, *Q. canbyi*, *Q. laceyi*, *Arbutus xalapensis*, Sierra Madre Oriental.

ABSTRACT

The content of total carbon was analyzed (CT) by dry weight base biomass unit in the components of the aerial biomass of the representative species of the pine-oak forest ecosystem, in the Sierra Madre Oriental. The components of the aerial biomass analyzed were stem, branches, bark and leaves of the species *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus laceyi*, *Q. rysophylla*, *Q. canbyi* and *Arbutus xalapensis*; also the content of total carbon through the stem of each specie was analyzed, as well as by groups of species (conifers and broadleaves) and in its components. A sample in each component of the aerial biomass of a tree of each diametric category present in the species was taken, as well as to 0.30 m, 1.30 m, and from here on to every two meters along the stem. The content of CT expressed as percentage of the dry weight base biomass was determined with analytic equipment that analyzes the contents of CT in solid samples by a complete combustion. For the CT content among components, species and among the components by species an ANOVA was carried out by a experimental design with a factorial arrangement 6 x 4, where the first factor has six levels, the species, and the second presented four, the components; resulting 24 interactions; while for groups of species a factorial design was carried out with an arrangement of 2 x 4, where in the first factor there are two levels, the groups of species and in the second, four, the components; resulting 8 interactions of Processing. It was presented significance in some factor in the previous test. An ANOVA completely randomized was carried out. For group of species it was performed a comparison of arithmetic means through a "t" test ($\alpha=0.05$) by groups; for the content of CT along the stem was carried an ANOVA completely randomized by species, where was determined as a treatment each one of the sections (heights) of the stem. It was found significance in the ANOVA completely randomized, an average comparison analysis was made, through the Tukey test. For the factorial ANOVA 6 x 4 was observed a high significance in each

one of the factors, as well as a high significance in the interaction; while in the ANOVA completely randomized for species and for components, was found that the differences are highly significant in each one of these. The species with greater content of CT is *J flaccida* (51.18 %), while *Q. rysophylla* is with the lowest content of CT (47.98 %); the component with greater content of CT is, leaves *Arbutus xalapensis* (55.05%) and with the lowest content of CT was the bark of *Q. laceyi* (43.65 %). In the components of the aerial biomass of *P. pseudostrobus* was found highly significant differences, where the component with greater content of CT is the bark (51.82 %) and that of lower content is the stem (49.23 %); in *J. flaccida*, it was not found significant differences among the components of the aerial biomass; while for *Q. rysophylla* highly significant differences were found, the component with greater content of CT are the leaves (50.69 %) and with the lower content is the bark (44.42 %); in *Q. canbyi* it was found only a significant differences, the component leaves is with greater content (50.41%) and the bark that of lower (48.12 %); *Q. laceyi* presented highly significant differences, where the component leaves is with a greater content (51.10 %) and the bark that of lower (43.65 %); and for *Arbutus xalapensis* highly significant differences were found, the component leaves presented the greater content of CT (55.05 %), while the bark was with the lower content (47.32 %). For the carbon content average by group of species, was observed highly significant differences; where the group conifers presented an average of 50.76 %, while the broadleaves was 48.85. For components by group of species highly significant differences were found, where the conifers bark components with 51.90 % was with the greater content in comparison with the component bark of the broadleaves with 45.75 % that was the lower one. For content of carbon along the stem it was not found significance among the treatment in none of the species.

Key words: Content of carbon, aerial biomass, species, forest of pine-oak, *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus rysophylla*, *Q. canbyi*, *Q. laceyi*, *Arbutus xalapensis*, Sierra Madre Oriental.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático inducido por la actividad antropogénica, debido al incremento de los gases de efecto de invernadero principalmente el CO₂, hoy se percibe como uno de los más grandes desafíos ambientales a nivel mundial (Ordóñez y Masera, 2001; Alig *et al.*, 2002). La gama de los posibles efectos nocivos del cambio climático en la agricultura y la productividad de los bosques se ha incrementado, y por consecuencia ha generado mucho debate de cómo reducir los gases de invernadero que se emiten a la atmósfera por la actividad industrial y las prácticas de manejo de la tierra (Alig, 2005); sin embargo dentro de este contexto, los que formulan políticas internacionales están esforzándose por diseñar maneras de mitigar los efectos del incremento de las concentraciones de gases de efecto de invernadero (Lee, *et al.*, 2002). En 1992 en Río de Janeiro, los países de mundo suscribieron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; en esta convención, los países desarrollados se establecieron como meta para el año 2000, regresar los niveles de emisiones de gases de efecto de invernadero a niveles de 1990; sin embargo para la primera y segunda conferencia de las partes celebradas en Berlín en 1995 y en Ginebra en 1996 respectivamente, constataron la insuficiencia de los compromisos establecidos, implementándose para la tercera conferencia de las partes en Kyoto, Japón en 1997 lo que hoy se conoce como el Protocolo de Kyoto, donde se establecieron compromisos cuantitativos de reducción de emisiones, con plazos definidos y jurídicamente vinculantes (Méndez, 2001).

Mediante el mecanismo de desarrollo limpio (MDL) considerado en el artículo 12 de protocolo de Kyoto, existe la opción para desarrollar proyectos forestales para mitigar el cambio climático en los países en transición hacia una economía de

mercado (no incluidos en el anexo 1); sobre este contexto se destaca la importancia de los bosques para mitigar las emisiones de CO₂, mediante el desarrollo de proyectos encaminados a la captura de carbono a través de los procesos naturales de la fotosíntesis.

La negociación de la medida en que los países industrializados podrían utilizar los bosques y sus productos para cumplir sus compromisos de mitigar el cambio climático, resultó laboriosa y contenciosa (FAO, 2005). Las reglas son complicadas, y los procedimientos de medición e información son costosos hasta el punto de que pueden impedir que algunos países realicen toda la gama de actividades forestales permisibles según el protocolo de Kyoto (FAO, 2005); por ejemplo la estimación del carbono almacenado en la biomasa, en general se calcula aceptando que el contenido de carbono total por unidad de biomasa base peso seco va de 50 – 53 % para pino y 47 – 50 % para latifoliadas (Lopera y Gutiérrez, 2000; citado por Gayoso, 2001); sin embargo, diferentes estudios denotan la variabilidad del contenido de carbono según la especie y tejido del árbol (Francis, 2000; Gifford, 2000 citado por Gayoso y Guerra, 2002), así también se han encontrado diferencias según el método empleado en su determinación (Gayoso y Guerra 2002). Algunos trabajos como el de Rodríguez y Pratt, (1998) el contenido de carbono lo generalizan al 50 %.

Evidentemente la temática del cambio climático, específicamente en lo referente a estudios sobre la contribución de las emisiones y de la captura de carbono de sector forestal, es un área de investigación de frontera a escala mundial (SEMARNAT, 2001).

Si bien en México existen ciertos trabajos sobre captura de carbono en diferentes ecosistemas, el estado de Nuevo León no cuenta aún con información relativa en este tema, sin embargo es necesaria para realizar este tipo de proyectos. En relación a lo anteriormente descrito, y para contribuir en la homogenización de las metodologías para estimar el carbono almacenado en los ecosistemas forestales se

realizó el presente trabajo, donde se analizó el contenido de carbono total (CT) por unidad de biomasa base peso seco en los diferentes componentes de la biomasa aérea de las especies representativas del bosque de pino – encino en la Sierra Madre Oriental; además se determinó el contenido CT promedio por especie, por grupo de especies (coníferas y latifoliadas) y se analizó la variación de éste en toda la sección longitudinal del fuste. El contenido de CT se determinó con el equipo de laboratorio que analiza el contenido en muestras sólidas, en función de la combustión total.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo de la presente investigación es proporcionar información y coeficientes del contenido de carbono por unidad de biomasa base peso seco de las especies representativas del bosque de pino–encino, que permitan estimar el carbono almacenado en los ecosistemas forestales en el estado de Nuevo León, México.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de carbono total (CT) por unidad de biomasa base peso seco de cada uno de los componentes de la biomasa aérea (fuste, ramas, hojas y corteza) de las especies representativas del ecosistema bosque de pino – encino.

- Determinar el porcentaje de carbono total (CT) por unidad de biomasa base peso seco de cada uno de los componentes de la biomasa aérea (fuste, ramas, hojas y corteza) de los grupos de especies (coníferas y latifoliadas) del ecosistema bosque de pino – encino.

- Determinar un porcentaje promedio de CT por unidad de biomasa base peso seco en cada una de las especies representativas del ecosistema bosque de pino – encino.

- Determinar el porcentaje de CT por grupo de especies (coníferas y latifoliadas) que se encuentran presentes en el ecosistema bosque de pino – encino.

- Determinar el porcentaje de CT a diferentes alturas del fuste de las especies representativas del bosque pino – encino.

2.3 Hipótesis

Ho: El carbono capturado por unidad de biomasa base peso seco, en las especies representativas del bosque de pino-encino en la Sierra Madre Oriental, es similar entre éstas y entre los componentes hojas, ramas, corteza y fustes.

Ho: En los fustes de las especies representativas del ecosistema bosque de pino-encino de la Sierra Madre Oriental, el carbono capturado por unidad de biomasa base peso seco, es similar a cualquier altura.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Cambio climático

Uno de los fenómenos atmosféricos de mayor importancia mundial es el cambio climático, derivado del incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); dichos gases son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), pentafluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF₆); mismos que provocan el incremento de la temperatura global de la atmósfera (Zamora, 2003). El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero (FAO, 2005) producido por las actividades humanas (Schlegel, 2001; Houghton, 1997). Este fenómeno se considera hoy en día, como uno de los más grandes desafíos ambientales a nivel mundial (Alig, Adams y McCarl, 2002).

La evidencia científica sugiere que la creciente concentración de CO₂ en la atmósfera es la causa principal del cambio climático (Lee *et al.*, 2002); se estima que en los últimos 200 años el aumento del CO₂ en la atmósfera se ha incrementado de 280 a 350 ppm, con una tasa promedio un poco superior a 1 ppm al año (Saarnio *et al.*, 1998; Acosta *et al.*, 2002; Jaramillo, 2004; FAO, 2005).

La producción neta de CO₂ de la atmósfera, calculada como la diferencia entre los procesos de absorción (fotosíntesis) y las pérdidas (respiración), se estima aproximadamente en 2 Gt CO₂ / año (Bauer *et al.*, 2005).

Mientras que para América Latina y el Caribe, derivado de la actividad antropogénica, se estima que en el año 2000 aportaron el 5.5 % del total de las emisiones de CO₂ mundiales. Se calcula que las emisiones totales alcanzaron 24 mil millones de toneladas (WRI, 2003 citado por Bauer *et al.*, 2005).

De acuerdo a estimaciones utilizadas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la temperatura de la tierra se incrementará entre 1.4° C y 5.8° C entre el período 1990 a 2100 (Castro y Cordero, 2001); la FAO (2005) menciona que en Europa, el verano del 2003 fue el más cálido en los últimos cinco siglos, y además que las precipitaciones han disminuido entre un 2 y un 5 por ciento desde 1900.

El incremento de las concentraciones del CO₂ en la atmósfera, está ampliamente relacionado con la actividad antropogénica, principalmente por la utilización de los combustibles fósiles (Castro y Cordero, 2001; Lee *et al.*, 2002; IPCC, 2005); seguido por el incremento de la tasa de deforestación a nivel mundial (Castro y Cordero, 2001), provocado por las prácticas insustentables en el aprovechamiento de los recursos naturales (Haripriya, 2002); dado que en los últimos 150 años, la forma de utilizar estos recursos ha contribuido en forma muy significativa al aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera de la tierra (Schlegel, 2001). En México se estima que en 1996 se emitieron 157 mil Gg de CO₂ a la atmósfera por actividades relacionadas con el cambio de uso de suelo (SEMARNAT, 2001); esta problemática es más evidente en los trópicos (Torres-Rojo y Flores-Xolocotzi, 2001).

Como el incremento de las temperaturas globales coincide con el incremento en las concentraciones del CO₂ atmosférico, el interés de la comunidad científica en el ciclo global del carbono, continúa creciendo (Jannssens *et al.*, 2002); sobre este contexto, se realizan esfuerzos para encontrar formas de mitigar los efectos del incremento de los GEI (Lee *et al.*, 2002; Seely *et al.*, 2002).

México en la última década ha mantenido una política de desarrollo nacional que consiste en una decidida acción para mitigar la emisión de GEI; ha promovido diversas medidas para contribuir no sólo a mejorar la eficiencia de su economía, sino también a impulsar un desarrollo sustentable (SEMARNAT, 2001).

El sector forestal de México puede contribuir en gran medida a la mitigación del cambio climático, no sólo disminuyendo las emisiones de CO₂ que derivan de su gestión y de su afectación por las prácticas agropecuarias, sino porque además puede contribuir a la reversión del proceso mediante prácticas de recuperación del uso forestal, como la forestación y la reforestación (INE-SEMARNAP, 2000). Como prueba de esto, incrementó la superficie de áreas naturales protegidas (ANP's), de 13.4 millones a 17 millones de hectáreas; la superficie de unidades de manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre (UMA's) pasó de 2 a 14.1 millones de hectáreas en un período de seis años; mientras que para el año 2000 incorporó 2.6 millones de hectáreas de bosques y selvas al manejo forestal sustentable (SEMARNAT, 2001).

3.2 Protocolo de Kyoto

La respuesta política internacional al cambio climático inició con la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1992 (Valero, 2004). Esta Convención establece un marco para la acción, cuyo objetivo es la estabilización de la concentración de GEI en la atmósfera, para evitar que la actividad humana interfiera drásticamente con el sistema climático. La CMNUCC entró en vigor el 21 de marzo de 1994 y actualmente incluye a 188 países. Las intensas negociaciones posteriores culminaron en la Tercera Conferencia de las Partes (COP-3) en Kyoto, Japón, en diciembre de 1997 (Victor, 2001), cuando los delegados acordaron un Protocolo, que se denominó Protocolo de Kyoto, para la CMNUCC, que compromete a los países desarrollados y a los países en transición hacia una economía de mercado, a alcanzar objetivos cuantificados de reducción de emisiones (Valero, 2004); éste tiene el objetivo de reducir las emisiones netas de carbono en unas 0,3 Gt por debajo de los niveles de 1990 en los países industrializados (Bauer *et al.*, 2005).

Bauer *et al.* (2005) destacan que el protocolo de Kyoto establece tres mecanismos flexibles para disminuir el costo de la reducción de emisiones de los GEI para los países incluidos en el Anexo I de la CMNUCC. Estos son los siguientes:

La aplicación conjunta (AC) que permite contabilizar a las partes incluidas en el Anexo I de la CMNUCC, las unidades de reducción de emisiones (URE).

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que permite ayudar al desarrollo sostenible de las partes no incluidas en el Anexo I de la CMNUCC, mediante la ejecución de tecnologías limpias; y por otro lado generar Reducciones Certificadas de Emisiones (REC), que pueden ser contabilizados por los países incluidos en el Anexo I.

Comercio de Emisiones (CE) que permite la compra-venta de emisiones entre las partes incluidas en el Anexo I, para el cumplimiento de sus compromisos.

A través del MDL, un país incluido en el Anexo I que tiene compromisos cuantificados de reducción o limitación de sus emisiones de GEI, puede desarrollar proyectos que contribuyan a reducir las emisiones en países en desarrollo que no tienen objetivos en la reducción de estas emisiones. De este modo el país no incluido en el Anexo I, se beneficia de la transferencia de tecnología y contribuye a su desarrollo sustentable; mientras que el país incluido en el Anexo I, puede utilizar la reducción certificada de emisiones (RCE) generadas en los proyectos MDL, para contribuir al cumplimiento de una parte de sus compromisos de reducción o limitación de emisiones de GEI (Ordóñez y Masera, 2001; Bauer *et al.*, 2005).

3.3 Mercados del carbono

Según una evaluación reciente, los mercados de carbono están creciendo rápidamente, sobre todo las transacciones basadas en proyectos; el mercado ha crecido constantemente desde unas 13 millones de toneladas de equivalente de CO₂ en 2001 hasta unos 29 millones en 2002, y más de 70 millones durante los primeros tres trimestres del 2003. Mientras los países desarrollados son los principales compradores, la parte de las reducciones de emisiones contratada en las economías en transición y los países en desarrollo aumentó del 38 por ciento en 2001 al 60 por

ciento en 2002, y al 91 por ciento durante los tres primeros trimestres de 2003. Gran parte de este incremento procede de América Latina y Asia (FAO, 2005).

Este desarrollo en el mercado internacional de carbono, se debe al interés que existe por adquirir las RCE por parte, principalmente, de ciertos países europeos, Canadá y Japón; ahora bien, se están consolidando también mercados regionales independientes, como son el mercado de carbono Europeo, los mercados de Japón, Canadá e Inglaterra, así como un mercado paralelo en los Estados Unidos y Australia (Bauer *et al.*, 2005).

3.4 Los bosques como sumideros de carbono

En esencia la fotosíntesis es el único mecanismo de entrada de energía para la biosfera, como reacciones de oxidación que produce la energía de la que depende la vida, en la fotosíntesis participan la oxidación y reducción. El proceso global es una oxidación de agua (eliminación de electrones con liberación de oxígeno como subproducto) y una reducción de CO₂ para formar compuestos orgánicos tales como carbohidratos (Salisbury y Ross, 1994). El ciclo del carbono entre el suelo, atmósfera y los reservorios bióticos, es mediado por la fotosíntesis y la respiración (Lal, 2001). Las plantas superiores adquieren el bióxido de carbono atmosférico por difusión a través de los estomas, es transportado a los sitios donde es realizada la fotosíntesis para convertirlos en carbohidratos; la otra parte se regresa a la atmósfera mediante la respiración (Jaramillo, 2004).

Las especies que producen ácidos tetracarboxilados como producto primario a la fijación inicial de CO₂, en la actualidad se conocen como especies C₄; aquellas que al inicio fijan el CO₂ en 3-PGA (ácido 3-fosfoglicérido) se denominan especies C₃ (Salisbury y Ross, 1994). Por lo tanto a nivel de ecosistemas, las especies que crecen en ambientes ricos en recursos, tienen capacidades fotosintéticas mucho mayores que las que crecen donde el agua, nutrientes, o luz son escasos, por ejemplo, cuando el potencial hídrico se torna muy negativo (cuando el agua es el factor limitante), de inmediato se retarda la expansión celular, por lo que el

crecimiento disminuye, y con sólo un poco más de estrés hídrico, los estomas empiezan a cerrarse y la captación de CO₂ se restringe. Las especies que poseen la ruta C4 para la fijación de CO₂ por lo general poseen las tasas fotosintéticas mayores, mientras que las suculentas del desierto, de lento crecimiento, y que presenta metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), tienen tasas que se hallan entre las más bajas (Salisbury y Ross, 1994). La mayoría de las especies C4 son monocotiledóneas y todas las gimnospermas, briofitas y algas, así como la mayoría de las pteridofitas que se han estudiado son plantas C3 (Salisbury y Ross, 1994).

Sobre estas bases Dyson (1977) propuso que las emisiones nocivas de CO₂, podrían transformarse en nuevos bosques mediante el proceso de la fotosíntesis (FAO, 2005); ya que la mayor parte del CO₂ que utilizan los vegetales termina por convertirse en celulosa, el componente principal de la madera (Salisbury y Ross, 1994); por ende, actualmente se reconoce la importancia de los bosques como un medio para mitigar las emisiones de GEI, particularmente el CO₂ (Rojas, 1993; Binkley *et al.*, 1997); convirtiéndose así, todos los ecosistemas forestales en importantes sumideros de CO₂ (Pardos, 1999). Como producto de este hecho, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable por incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre mediante la conservación forestal, la reforestación, la agroforestería y otros métodos de manejo del suelo (Jong *et al.*, 2004).

Por su parte Haripriya (2002) destaca que es importante considerar estos ecosistemas, ya que se pueden convertir en importantes fuentes así como sumideros de CO₂.

Las estimaciones de carbono que se fija cada año van de 70,000 a 120,000 millones de toneladas métricas (equivalentes a unas 170 a 290 giga toneladas de materia seca con fórmula empírica CH₂O) (Salisbury y Ross, 1994). Para México se estima que en 1996 se fijaron 42 mil Gg de C en los bosques manejados (SEMARNAT, 2001).

En relación a los proyectos forestales que pueden ser considerados para mitigar el cambio climático, es importante destacar, que aún y que en el Protocolo de Kyoto (artículo 12, donde se establece el MDL) no contempla a los sumideros de carbono como proyectos para alcanzar las RCE, no fue hasta Julio de 2001 en el Acuerdo Político de Bonn (COP 6 bis, Bonn, julio 2001) donde se incluyeron a éstos, y se desarrolló más a detalle en los Acuerdos de Marrakech (COP 7) (Bauer *et al.*, 2005). A partir de entonces y para el caso de México, el MDL es la opción para el desarrollo de proyectos de captura de carbono.

En diciembre de 2003, se celebró en Milán, Italia la novena reunión de la Conferencia de las Partes en el CMNUCC, en la que se determinó que sólo la repoblación forestal y la reforestación pueden acogerse a los proyectos relativos a los sumideros de carbono en el marco de MDL; se ratificó así también la orientación sobre las buenas prácticas en materia de uso del suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura 2003, para evaluar y notificar las variaciones en el carbono almacenados y la circulación de gases de efecto invernadero en los bosques en el contexto del CMNUCC (FAO, 2005).

En diciembre de 2004, los delegados reanudaron los debates en la décima reunión de la conferencia de las partes en el CMNUCC, celebrada en Buenos Aires, Argentina. Entre las cuestiones abordadas cabe citar los proyectos de repoblación forestal y reforestación en pequeña escala y la utilización sobre buenas prácticas para facilitar la información suplementaria prevista en el Protocolo de Kyoto (FAO, 2005). Otros temas tratados en la reunión fueron el carbono procedente de los productos madereros de la explotación forestal, definiciones y métodos para contabilizar la degradación de los bosques, y métodos para tener en cuenta las variaciones en el carbono almacenado en los bosques, debidas directamente a actividades humanas y como consecuencia de efectos indirectos y naturales (FAO, 2005).

Sobre este contexto Zamora (2003) menciona que a través de la restauración de las áreas degradadas, plantaciones y/o regeneración natural y por la extracción de madera; se pretende almacenar el carbono a través del crecimiento de árboles y, al extraer la madera, transformarla en productos durables. El carbono acumulado se mantendrá durante la vida útil del producto.

Ordóñez (1999) destaca que los almacenes de carbono en un ecosistema forestal son el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable.

Dadas las circunstancias, en México existe un gran potencial para realizar proyectos forestales de captura de carbono que a su vez permitan el desarrollo sustentable (Maser *et al.*, 1997; Guzmán *et al.*, 2004) de aproximadamente 12 millones de mexicanos (muchos de ellos en condiciones de extrema pobreza y marginación) que poseen una buena parte de los bosques y selvas (propiedad comunal o ejidal), y que constituyen su patrimonio principal (Jong *et al.*, 2004).

3.4.1 Contenidos de carbono en la biomasa aérea de las especies forestales

Para Brown (1997) la biomasa es el importe global de materia orgánica que está sobre la tierra en los árboles, expresada como las toneladas de materia-seca por unidad de área. Por consiguiente, la biomasa representa la cantidad potencial de carbono que puede agregarse a la atmósfera como el anhídrido carbónico cuando el bosque se aclara y/o se quema.

La biomasa de los bosques proporciona estimaciones de los almacenes del carbono en la vegetación, dado que aproximadamente 50% de él es carbono (IPCC, 1996; Brown, 1997). Sin embargo diferentes estudios denotan la variabilidad del contenido de carbono en la biomasa aérea según la especie y el tejido del árbol (Gayoso y Guerra, 2002), por ejemplo, algunos autores utilizan un rango que van desde 45 a 50 % del peso seco de ésta (Houghton *et al.*, 1985 citado por Birdsey y

Heath, 2001); mientras que otros diferencian entre maderas blandas (52.1 %) y maderas duras (49.1 %) (Birdsey y Heath, 2001).

García (2000) menciona que los primeros trabajos que aportaron cifras sobre existencias y producción de todos los componentes del árbol, así como del contenido de nutrientes de sus distintos tejidos, se desarrollan en la década de los cincuenta; él estudia los compartimentos y flujos de biomasa y nutrientes en *Pinus sylvestris*, determinando el C y N por medio de un analizador automático.

Para el estudio de la biomasa por componentes y la producción de plantas individuales Whittaker y Woodwell (1968) en su trabajo en el bosque de Brookhaven, NY proponen un método que recoge de una forma sistemática los utilizados en la medición de árboles y arbustos (Ovington, 1957; Whittaker, 1962; Baskerville, 1965 Chew y Chew , 1965 citado por García, 2000)

Algunos trabajos específicamente relacionados con la captura de carbono es el de García *et al.* (2002), donde determinan el porcentaje de carbono contenido en las diferentes especies en Catalonia, España.

Gayoso (2001) por su parte, estudia 14 especies del bosque nativo siempre verde y tres especies exóticas en Chile, haciendo la determinación del contenido de carbono mediante oxidación (solución de bicromato de potasio en ácido sulfúrico), medido colorimétricamente; encontrando una variación que va desde 34.86 % a 48.15 %, según el componente (fuste, ramas, hojas, etc.) y la especie, y con un promedio de 44.10 %.

Por otra parte Gutiérrez y Lopera (2001) en plantaciones de *Pinus patula*, en Colombia, encontraron una variación de 49.01 a 56.61 % en los diferentes componentes y un promedio ponderado de 51.20 %, esto mediante un analizador automático.

En México, al igual que en la mayoría de los países en desarrollo, es difícil cuantificar la incertidumbre asociada con las estimaciones del balance entre las emisiones y la captura de carbono (Ordóñez *et al.*, 2001; SEMARNAT, 2001), ya que existe escasa información sobre el contenido de carbono promedio en la vegetación y estudios detallados a escala regional sobre el potencial de captura de carbono (SEMARNAT, 2001).

Sin embargo existen algunos trabajos relacionados con el contenido de carbono en ecosistemas forestales; Acosta *et al.* (2001) realizaron el estudio del contenido de carbono mediante un analizador automático en los compartimentos subterráneos (raíces y suelo) en sistemas forestales y agrícolas en el estado de Oaxaca; Zamora (2003) utiliza un coeficiente de 0.45 para determinar carbono capturado en bosques de pino en el estado de Michoacán; Silva (2006) realizó un trabajo sobre factores de expansión de carbono en el noreste del estado de Durango, determinando un contenido de carbono de 56 % para coníferas (*Pinus spp*) y 54 % para latifoliadas (*Quercus spp*); por otra parte López (2006) determinó una proporción de carbono del 57 % para especies del género *Pinus* y 54 % para especies del género *Quercus*, con lo que determinó factores de expansión de volumen a carbono en el sur del estado de Chihuahua; Rodríguez *et al.* (2006) estimó el carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, empleando un factor de conversión de 0.531 para las latifoliadas y 0.521 para las coníferas; y Pacheco *et al.* (2007) determinaron un promedio de 51 % en la biomasa aérea en una plantación de 6 años de *Pinus greggii* en el estado de Hidalgo.

Por otra parte, en los proyectos forestales de captura de CO₂ además de la estimación volumétrica de la madera utilizable en los troncos de los árboles en pie, hoy en día se debe considerar los árboles completos, vivos y muertos; raíces, tocones, fustes (incluyendo la corteza), ramas y follaje (Husch, 2001); por ende, para realizar dichos estudios, es necesario desarrollar metodologías que permitan medir y cuantificar de manera confiable y a bajo costo el C almacenado (Acosta, *et al.*, 2001; Gutiérrez y Lopera, 2001).

Este trabajo se destaca por la importancia sobre la determinación del contenido de carbono a nivel especie, siendo este un elemento que contribuye de manera confiable sobre la estimación del carbono almacenado en los ecosistemas forestales. Este tipo de estudios deberán permitir, por un lado, estimar de manera más precisa las densidades de carbono asociadas a las distintas clases de vegetación (Ordóñez y Masera, 2001).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

El área de estudio se ubica en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental y sub-provincia Gran Sierra Plegada (INEGI 1986), específicamente en el Bosque-Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León, a 50 km al sur-oeste de la ciudad de Linares, N. L., México. Se localiza geográficamente en las coordenadas $24^{\circ} 43' 00''$ de latitud norte y en los $99^{\circ} 52' 00''$ de longitud oeste (Figura 1) con una altura sobre el nivel del mar de 1600 m (Cantú y González, 2002).

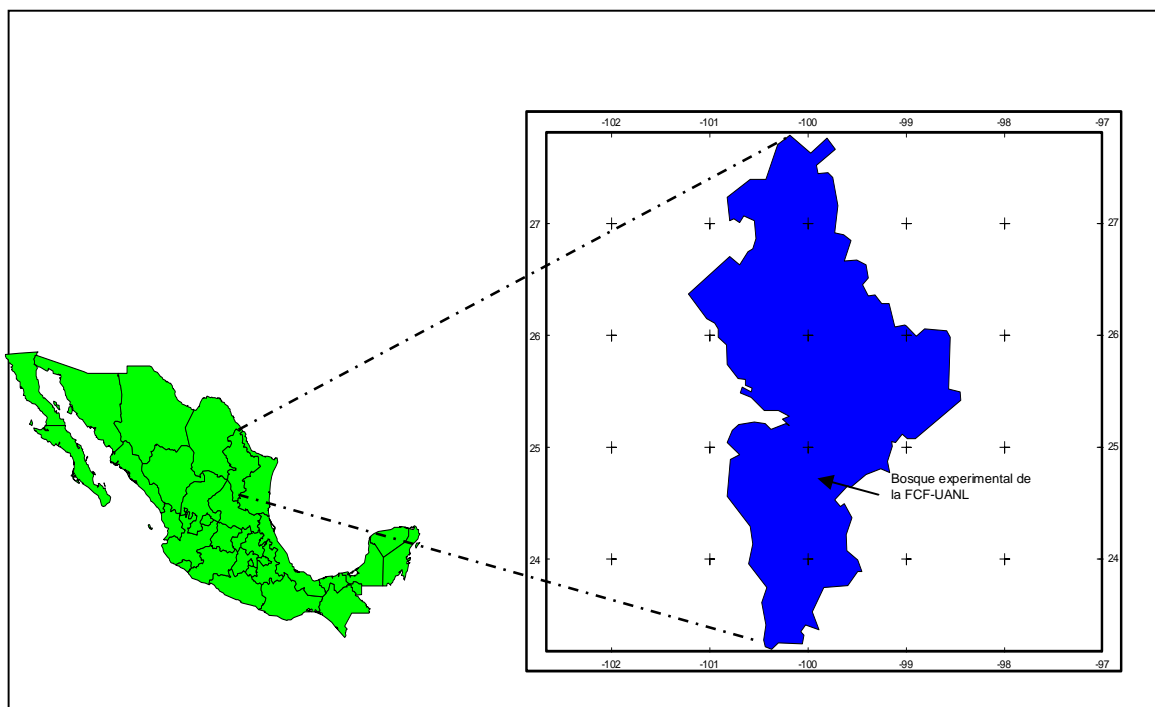


Figura 1. Ubicación del Bosque-Escuela (Facultad de Ciencias Forestales, UANL).

4.2 Suelo

El tipo de suelo predominante en el área de estudio pertenece a la clase kastañozem cálcico, de textura limosa en el suelo superficial y arcillo limosa en el

subsuelo, con altos contenidos de nutrimentos minerales como K, Fe, Mn y Cu y bajos contenidos de Zn y P. El pH es moderadamente alcalino (7.5-8.5), con bajos contenidos de materia orgánica y nitrógeno (Cantú y González, 2002).

4.3 Clima

El tipo de clima que caracteriza al área de estudio es C (w₀) templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 1986); la temperatura y precipitación promedio anual son de 13.9°C y 639 mm respectivamente. El 80 % de la precipitación se presenta entre los meses de mayo a octubre (Cantú y González, 2002).

4.4 Vegetación

El tipo de vegetación que caracteriza al área de estudio, es el bosque de pinoencino; las especies dominantes en el estrato arbóreo son las coníferas *Pinus pseudostrobus* y *Juniperus flaccida*; y de las latifoliadas son las especies del género *Quercus rysophylla*, *Q. canbyi*, *Q. laceyi* y *Arbutus xalapensis* (Jiménez *et al.*, 2001).

4.5 Metodología de campo

Las especies que se consideraron para el presente trabajo fueron las que en su estudio Jiménez *et al.* (2001), determinaron como las representativas de este tipo de ecosistema en función de la abundancia, dominancia y frecuencia; bajo estos criterios son el *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus rysophylla*, *Q. canbyi*, *Q. laceyi* y *Arbutus xalapensis*.

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.

4.5.1 Tamaño de la muestra

Para la determinación del contenido de carbono en los componentes de la biomasa aérea, Gayoso (2001) consideró como tamaño de muestra, un individuo de

cada categoría diamétrica presente (con al menos tres individuos) para cada especie, en base a un inventario forestal de cuatro parcelas de 500 m², con lo que determinó la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones en Chile.

En el presente trabajo y para analizar el contenido de carbono total (CT) en la biomasa aérea por componente (hojas, ramas, corteza y fuste) y por especie, se realizó un muestreo por individuo de las categorías diamétricas de 5 cm hasta 40 cm para *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Q. rysophylla* y *Q. canbyi* (ocho individuos para cada una de estas especies); hasta la categoría de 35 para *Q. laceyi* (siete individuos para esta especie); y hasta la categoría de 20 para *Arbutus xalapensis* (cuatro individuos para esta).

De esta manera para la determinación del CT promedio para grupos de especies (coníferas y latifoliadas) son 16 individuos para las coníferas y 27 para las latifoliadas (Cuadro1).

Cuadro 1: Número de muestras por especie y por componente aéreo

Especie	N° de árboles	Número de muestras por componente				
		Corteza	Hojas	Ramas	Fuste ¹	Total ²
<i>Pinus pseudostrobus</i>	8	8	8	8	52	76
<i>Juniperus flaccida</i>	8	8	8	8	35	59
<i>Quercus laceyi</i>	7	7	7	7	32	53
<i>Q. rysophylla</i>	8	8	8	8	42	66
<i>Q. canbyi</i>	8	8	8	8	43	67
<i>Arbutus xalapensis</i>	4	4	4	4	15	27
Total	43	43	43	43	219	348

¹ Del fuste se tomaron muestras a 0.30 m, 1.3 m y de ahí en adelante a cada 2 m hasta el ápice en cada uno de los árboles muestreados.

² Total de muestras de los componentes aéreos de las especies

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 (60 mg máximo de muestra por análisis).

4.5.2 Colecta de las muestras

Una vez derribado y evaluado el árbol en la respectiva categoría diamétrica, se dividió en los distintos componentes: corteza, hojas, ramas y fuste (Figura 2).

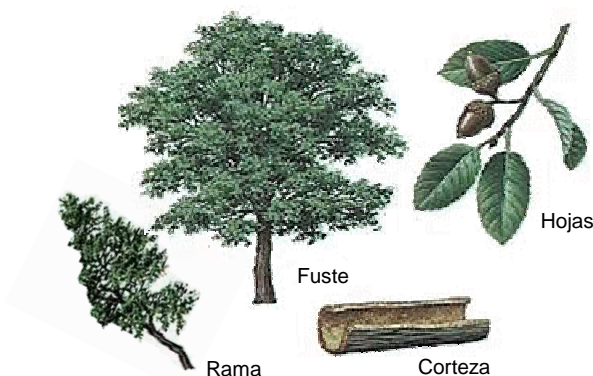


Figura 2. Representación esquemática de los componentes de la biomasa aérea

Hojas: Se tomó muestra en cada uno de los cuatro puntos cardinales de la copa, se empaquetó en una bolsa de papel y se identificó especie, categoría diamétrica.

Ramas: Se tomaron muestras (discos de 1 cm de espesor máximo) a partir de 1 cm de diámetro en los cuatro puntos cardinales de la copa, se identificó cada una de las muestras con la misma nomenclatura utilizada en hojas;

Fuste: Se seleccionaron las muestras de madera de la sección radial a 0.30 m, 1.30 m y de aquí en adelante una a cada 2 m hasta el ápice. Para las coníferas las muestras fueron extraídas con el taladro de Pressler y depositadas en tubos de plástico debidamente identifica por especie, categoría diamétrica y sección ($S_0 = 0.30$ m, $S_1 = 1.30$ m, $S_2 = 3.30$ m, $S_3 = 5.30$ m ..., $S_n =$ última sección del fuste); para las latifoliadas se cortaron discos de madera en cada una de esta secciones (de 1 cm de espesor máximo) y se depositaron en bolsas.

Corteza: Se colectó una porción en cada lugar que se tomó la muestra de madera del fuste. Es importante mencionar que las muestras no se separaron por secciones.

4.6 Metodología de laboratorio

Para el secado de las muestras en laboratorio, se adoptó la metodología aplicada por Gayoso (2001). 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 hasta obtener un peso constante. Cada muestra se molió en un molino pulverizador, depositándolas en bolsas de plástico previamente identificadas.

El contenido de CT se determinó con un equipo analítico denominado TOC Analyzer modelo 1020A de O-I-Analytical; éste determina los contenidos de CT en muestras sólidas mediante combustión completa, a una temperatura de 950 °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 (50 a 55 % del peso seco de la muestra es CT) y con base a la literatura consultada (IPCC, 1996; Brown, 1997; Houghton *et al.*, 1985 citado por Birdsey y Heath, 2001; Gayoso y Guerra, 2002), 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 (5, 10, 15 y 20 µL).

Cada uno de los volúmenes se analizó con dos repeticiones, obteniendo un R^2 en la recta de calibración de 0.999 (Figura 3). 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.

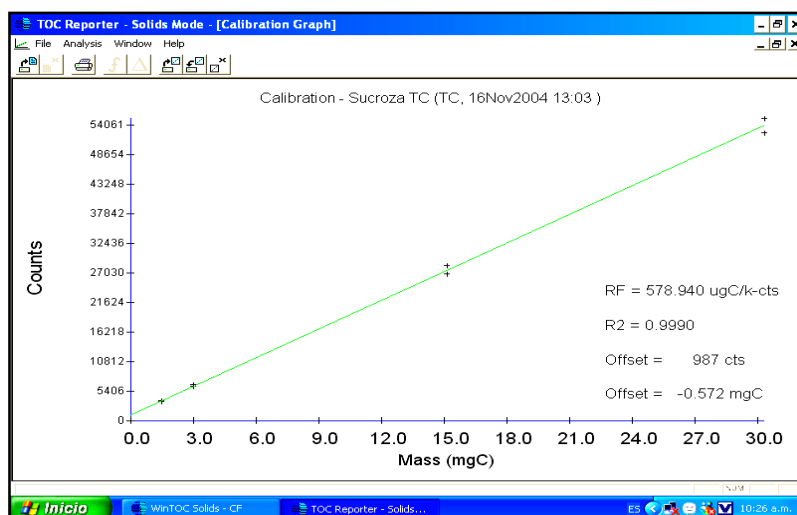


Figura 3. Gráfica de la recta de calibración con el estándar de sacarosa al 30 % y con un R^2 de 0.999.

4.7 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_{ij} = Variable dependiente

μ =Media poblacional

α_i =Es el efecto producido por el i-ésimo nivel del i-ésimo tratamiento

β_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

ε_{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, y dentro del factor especies seis niveles (*Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus rysophylla*, *Q. canbyi*, *Q. laceyi* y *Arbutus xalapensis*) y para el factor componente cuatro niveles (fuste, ramas, hojas y corteza); de esta manera se agruparon los datos bajo un diseño experimental factorial 6 x 4, teniéndose así 24 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 6 x 4.

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

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

Por otra parte se realiza un ANOVA factorial para determinar si existen diferencias significativas entre los componentes de los grupos de especies (coníferas y latifoliadas) y entre los grupos de especies, donde se determinan dos factores; el factor grupo de especies, con dos niveles (coníferas y latifoliadas) y otro factor como los componentes de la biomasa aérea de cada grupo de especies, con cuatro niveles (corteza, hojas, ramas y fuste), de tal manera que hay ocho interacciones (2 x 4).

Realizado el ANOVA factorial y si se encuentra significancia entre los diferentes niveles de los factores (componentes de los grupos de especies y grupos de especies), se procede a realizar un ANOVA completamente aleatorio para componentes, estableciéndose como tratamientos los ocho componentes de los dos grupos de especies (cuatro para coníferas y cuatro para latifoliadas). Si resulta significancia en la prueba, se procede a realizar la prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha= 0.05$). Para el caso del grupo de especies, se realiza una comparación de medias a través de una prueba de "t" ($\alpha= 0.05$) por grupos, dado que sólo tenemos dos grupos de medias (CT de coníferas y CT de latifoliadas).

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

Para el caso de CT en el fuste, se realizó un ANOVA (con un nivel de significancia de $\alpha= 0.05$) bajo el diseño experimental completamente aleatorio en cada una de las especies, determinando como tratamiento cada uno de los niveles o secciones del fuste; si se encuentra significancia en esta prueba, se procede a

realizar un análisis de comparación de medias, a través de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza factorial (con un nivel de $\alpha= 0.05$) realizado para determinar si existen diferencias significativas entre las especies y entre los componentes e interacción entre estos dos factores; arrojó los siguientes resultados.

5.1 Análisis de CT (%) 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 ($Pr > 5.38^{-14}$) entre éstos; con lo que se determina que ambos factores no son independientes, es decir, que el contenido de CT en los componentes de la biomasa aérea depende de la especie (Figura 5).

5.1.1 CT (%) entre las especies

Con el análisis factorial se determinó que sí existen diferencias altamente significativas entre el CT de las diferentes especies ($Pr > 1.11^{-15}$); por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza bajo el diseño completamente aleatorio para CT por especie, donde se determinó que también existen diferencias altamente significativas entre el CT de las diferentes especies ($Pr > 40^{-08}$). La prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) muestra que el contenido de CT en la agrupación de especies, integrado por el género *Quercus*, son estadísticamente diferentes con valores inferiores que las de la agrupación formada por las especies *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida* y *Arbutus xalapensis*; sin embargo hay un grupo con valores intermedios entre estos dos extremos (Cuadro 2), en el que se mezclan una conifera con latifoliadas (*Quercus canbyi*, *P. pseudostrobus* y *A. xalapensis*). En la figura 4 se observa de manera clara como se integran estos grupos.

El promedio de CT estimado para *Pinus pseudostrobus* (50.34%) es similar al que Gutiérrez y Lopera (2001) encontraron para *Pinus patula* en Colombia (51.2 %); al igual que el 51% determinado para *Pinus greggii* en el estado de Hidalgo por Pacheco *et al.* (2007); este último bajo el mismo procedimiento utilizado en este trabajo. Por otra parte el contenido de CT para las especies de género *Quercus* de este estudio, son más bajos que los determinados por Silva (2006) y López (2006), ya que éstos encontraron un contenido de CT de 54 %, mientras que los encontrados en este estudio van del 47.8 al 49.13 %.

Cuadro 2: Comparación de medias aritméticas mediante la prueba de Tukey para CT por especie

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
<i>Quercus rysophylla</i>	47.98240	a
<i>Q. laceyi</i>	48.17978	a
<i>Q. canbyi</i>	49.13658	a b
<i>Pinus pseudostrobus</i>	50.34763	b c
<i>Arbutus xalapensis</i>	51.17372	b c
<i>Juniperus flaccida</i>	51.18170	c

¹ Letras iguales son estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

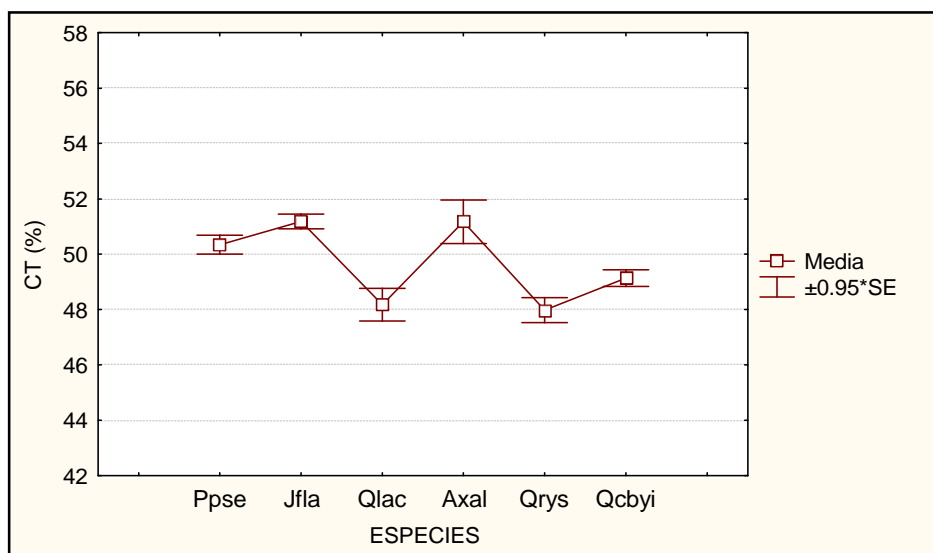


Figura 4. Porcentaje de CT promedio por especie. Ppse (*Pinus pseudostrobus*), Jfla (*Juniperus flaccida*), Qlac (*Quercus laceyi*), Axal (*Arbutus xalapensis*), Qrys (*Quercus rysophylla*) y Qcbyi (*Quercus canbyi*).

5.1.2 CT (%) por componente por especie

El análisis de varianza (con un nivel de significancia de $\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias altamente significativas ($P > 0.00$) 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 *Quercus laceyi*, *Q. rysophylla* y *Arbutus xalapensis*, es estadísticamente diferente y con valores inferiores (43.654 %, 44.426 % y 47.322 % respectivamente) al CT de los componentes de las otras especies (Figura 5; Cuadro 3); sin embargo el componente corteza de la especie *Arbutus xalapensis*, es estadísticamente igual a un grupo de componentes más amplio que cuentan con un contenido de CT que oscila desde 47.32250 % hasta 51.31406 % (Cuadro 3); en contraparte, el componente hojas de esta especie, es estadísticamente diferente al grupo anteriormente descrito, ya que presenta el contenido de CT más alto de todos los componentes de las especies (Figura 5), con un valor promedio de 55.049 % (Cuadro 3), destacando que lo acompañan en el mismo grupo los componentes que cuentan con un CT promedio que va de 51.00917% hasta 55.04917 %.

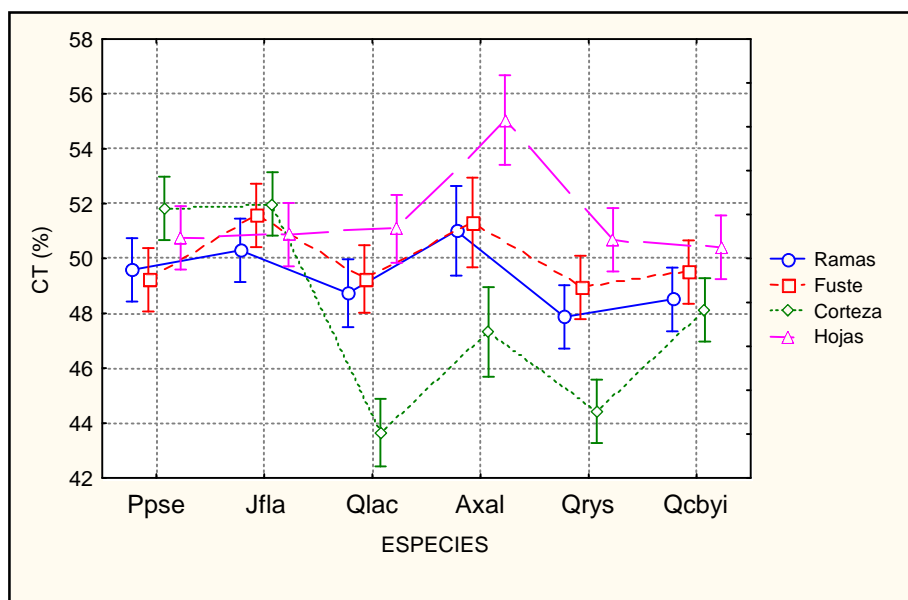


Figura 5. Porcentaje de CT promedio por componente por especie. Ppse (*Pinus pseudostrobus*), Jfla (*Juniperus flaccida*), Qlac (*Quercus laceyi*), Axal (*Arbutus xalapensis*), Qrys (*Quercus rysophylla*) y Qcbyi (*Quercus canbyi*). La barra vertical indica el I. C. 95 %

Un aspecto que es interesante e importante de destacar, es que la especie *Arbutus xalapensis* presenta los valores extremos encontrados en las especies estudiadas (Figura 5), dado que el componente corteza forma parte del grupo de valores más bajos (Cuadro 3) con un valor de 47.322 %, mientras que el componente hojas presenta un valor de 55.049 %.

El componte hojas presenta valores estadísticamente similares en todas las especies, a excepción de *Arbutus xalapensis* (Cuadro 3); los componentes ramas y fuste, presentan una relación muy estrecha en cada una de las especies, ya que presentan la misma tendencia en la figura 5.

Cuadro 3: Comparación de medias Tukey para el porcentaje de CT en los componentes de la biomasa aérea de las especies

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
<i>Corteza Q. laceyi</i>	43.65452	a
<i>Corteza Q. rysophylla</i>	44.42646	a
<i>Corteza A. xalapensis</i>	47.32250	a b c
<i>Ramas Q. rysophylla</i>	47.86792	b
<i>Corteza Q. canbyi</i>	48.12208	b c
<i>Ramas Q. canbyi</i>	48.50896	b c
<i>Ramas Q. laceyi</i>	48.73381	b c d
<i>Fuste Q rysophylla</i>	48.94562	b c d
<i>Fuste P. pseudostrobus</i>	49.23156	b c d e
<i>Fuste Q. laceyi</i>	49.25222	b c d e
<i>Fuste Q. canbyi</i>	49.50820	b c d e
<i>Ramas P. pseudostrobus</i>	49.58042	b c d e
<i>Ramas J. flaccida</i>	50.29708	b c d e
<i>Hojas Q. canbyi</i>	50.40708	b c d e
<i>Hojas Q. rysophylla</i>	50.68958	b c d e
<i>Hojas P. pseudostrobus</i>	50.75333	b c d e
<i>Hojas J. flaccida</i>	50.86875	b c d e
<i>Ramas A. xalapensis</i>	51.00917	b c d e f
<i>Hojas Q. laceyi</i>	51.07857	c d e
<i>Fuste A. xalapensis</i>	51.31406	b c d e f
<i>Fuste J. flaccida</i>	51.57347	d e f
<i>Corteza P. pseudostrobus</i>	51.82521	d e f
<i>Corteza J. flaccida</i>	51.98750	e f
<i>Hojas A. xalapensis</i>	55.04917	f

¹ Letras iguales son estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

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 43.65 en el componente corteza de *Q. laceyi* hasta 55.04 % en las hojas de la especie *A. xalapensis*, significando un rango de 11.39 %; mientras que Gayoso (2001) encontró un rango de variación similar en el contenido de carbono orgánico en 16 especies de bosques nativos en Chile, de 11.28 puntos porcentuales. El componente con menor contenido fue el de la corteza de la especie *Amomyrtus luma* (36.87) y el de mayor contenido fue el componente hojas de *Saxegothaea conspicua* (48.15).

5.2 Análisis del CT (%) por grupo de especies

Con el análisis factorial (2 x 4), se determinó que existe significancia en los niveles del factor grupo de especies (coníferas y latifoliadas) ($Pr > 5.41^{-09}$), así como en los niveles del factor componentes de los grupos de especies ($Pr > 6.03^{-06}$). Para la interacción entre los niveles de ambos factores (Figura 6), resultó altamente significativa la interacción ($Pr > 4.55^{-12}$).

5.2.1 CT (%) entre grupo de especies

El análisis de comparación de grupos de medias, a través de la prueba de "t" con un $\alpha = 0.05$, determinó que existen diferencias altamente significativas ($Pr > t 4.36^{-06}$) entre el contenido de CT de los dos grupos de especies (coníferas y latifoliadas), con valores de 50.76467 y 48.84834 por ciento, respectivamente.

Estos valores se encuentran dentro del rango que reportan Lopera y Gutiérrez (2000) citado por Gayoso (2001), donde citan que en las especies de coníferas el rango va de 50 a 53 %, mientras que para latifoliadas es de 47 a 50 %; por su parte Gayoso y Guerra (2002) mencionan que Slijepcevic (2001) reporta valores de 52.1 para coníferas y 49.1 para latifoliadas; al igual que los citados por Birdsey y Heath, (2001). Sin embargo comparativamente con los estudios realizados por Silva (2006) y el de López (2006) en el norte de México (Durango y Chihuahua respectivamente), el contenido de CT de este estudio se encuentra por abajo del reportado por éstos para

las coníferas, ya que reportan 56 % y 54 % respectivamente; mientras que para el caso de las latifoliadas (específicamente especies del género *Quercus*) también se encuentra por debajo del valor que estos reportan (54 %).

Por otra parte el promedio general del contenido de CT en la biomasa aérea de las especies del bosque de pino-encino es de 49.56 %; valor muy cercano al 50 % de C, citado por diversos autores (IPCC, 1996; Brown, 1997; Birdsey y Heath, 2001) para convertir la biomasa de los bosques a carbono almacenado.

5.2.2 CT (%) entre los componentes de la biomasa aérea de los grupos de especies

El ANOVA bajo el diseño experimental completamente aleatorio (con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$), donde se establecieron ocho tratamientos (cuatro componentes en latifoliadas y cuatro en coníferas), se estimó que existen diferencias altamente significativas ($Pr > 0.00$) entre los componentes de la biomasa aérea de los grupos de especies (coníferas y latifoliadas). Por otra parte el análisis de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) determinó que el componente corteza de las latifoliadas es estadísticamente diferente con valor inferior al resto de los componentes, y un contenido de CT (%) de 45.75037 (Cuadro 4), mientras que los componentes ramas y fustes tanto de coníferas como de latifoliadas son estadísticamente iguales, con valores que van de 48.74772 a 50.40252 por ciento, a su vez el componente hojas de coníferas es estadísticamente diferente a los componentes corteza y ramas de latifoliadas con un valor superior a éstos (50.81104 %); y por último los componentes ramas, fuste, hojas y corteza de coníferas y hojas de latifoliadas son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes (con valores superiores) estadísticamente a la corteza de las latifoliadas, el rango de valores de este último grupo va de 49.93875 a 51.90635 por ciento.

Cuadro 4: Comparación de medias Tukey para CT por componente de los grupos de especies del bosque de pino – encino

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Corteza de latifoliadas	45.75037	a
Ramas de latifoliadas	48.74772	b
Fustes de latifoliadas	49.54268	b c
Ramas de coníferas	49.93875	b c d
Fuste de coníferas	50.40252	b c d
Hojas de coníferas	50.81104	c d
Hojas de latifoliadas	51.35259	d
Corteza de coníferas	51.90635	d

¹ Letras iguales son estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

En la figura 6 se observa que los componentes ramas y fustes de latifoliadas y coníferas, presentan valores similares, hecho por el cual la prueba Tukey los agrupa como el grupo “b”, mientras que los componentes de las coníferas se encuentran en el mismo grupo (“d”); El componente hojas de las latifoliadas está dentro de este mismo grupo y por lo tanto separado de los componentes de su grupo de especies.

Otro aspecto que es importante destacar en la figura 6, es que el componente corteza de las latifoliadas, es el que presenta valores menores y de manera inversa éste se comporta en las coníferas; demostrándose así la razón de alto nivel de significancia entre la interacción de los factores componentes y especies; en otras palabras, el contenido de CT en los componentes depende de la especie o grupo de especie. Este aspecto es evidente también en la figura 5.

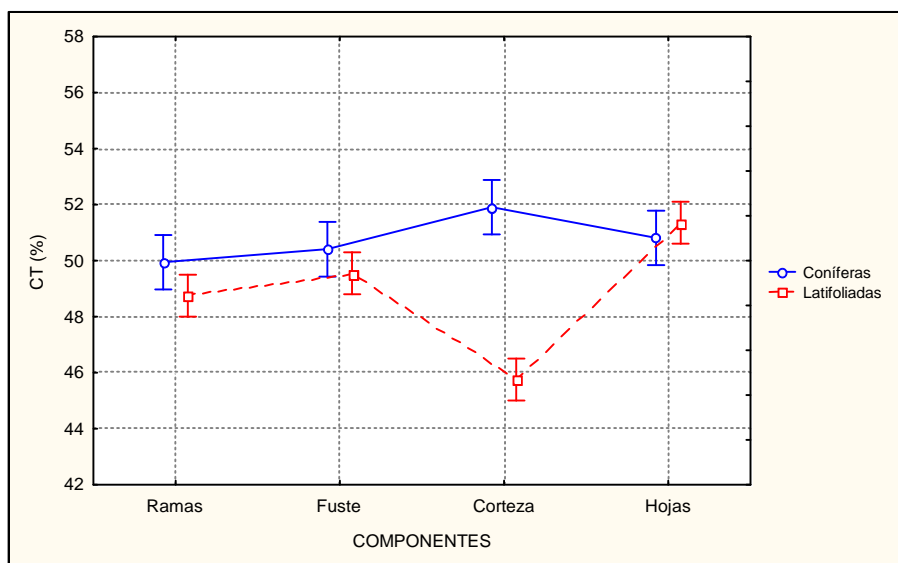


Figura 6. Porcentaje de CT promedio por componente por grupo de especie en el bosque de pino – encino. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.2.3 CT (%) entre los componentes de las coníferas

En el ANOVA factorial en el que se determinaron dos factores, uno es las especies y el otro los componentes; y dentro de cada factor dos niveles para el primero y cuatro para el segundo. El resultado determinó que sólo hay significancia entre los niveles del factor componentes ($Pr > 0.012206$) y que no hay significancia en la interacción de los niveles de ambos factores ($Pr > 0.234963$; Figura 7). Por lo tanto el ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio, donde se establecieron como tratamientos a los ocho componentes de ambas especies, determinó que hay diferencias significativas entre los componentes de ambas especies ($Pr > 0.011786$). La prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) determinó que las diferencias se encuentran entre los componentes fuste de la especie con género *Pinus* y la corteza de la especie del género *Juniperus*, con 49.23156 y 51.98750 % de CT respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 5: Comparación de medias Tukey para CT entre los componentes de las especies de coníferas del bosque de pino – encino

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Fuste <i>P. pseudostrobus</i>	49.23156	a
Ramas <i>P. pseudostrobus</i>	49.58042	a b
Ramas <i>J. flaccida</i>	50.29708	a b
Hojas <i>P. pseudostrobus</i>	50.75333	a b
Hojas <i>J. flaccida</i>	50.86875	a b
Fuste <i>J. flaccida</i>	51.57216	a b
Corteza <i>P. pseudostrobus</i>	51.82521	a b
Corteza <i>J. flaccida</i>	51.98750	b

¹ Letras iguales son estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

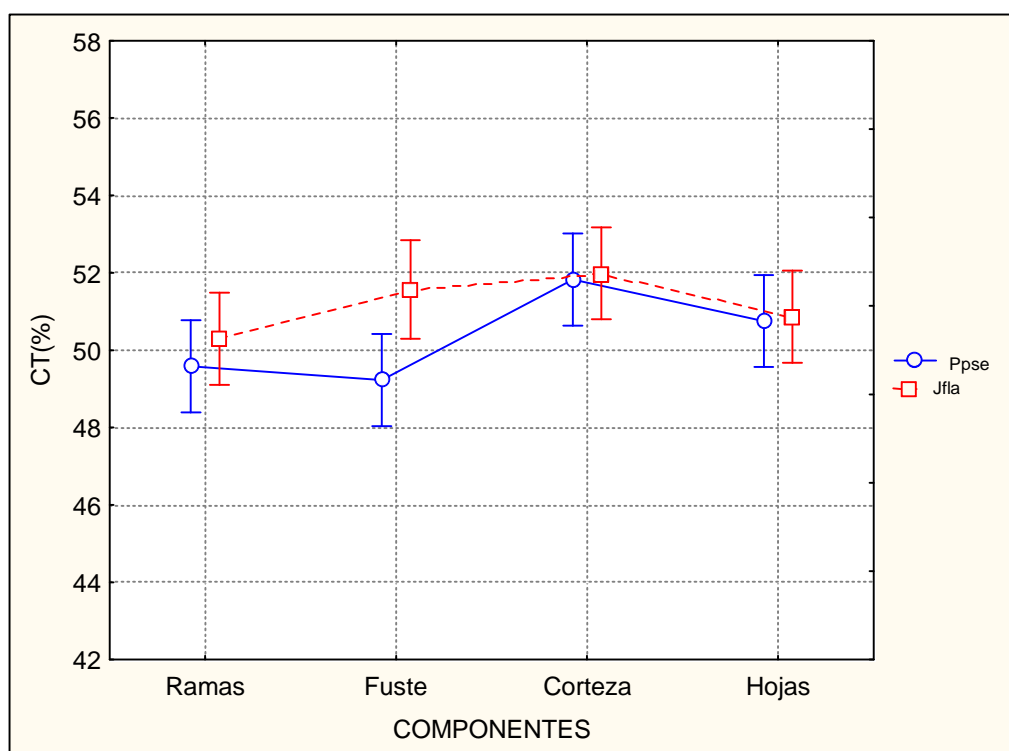


Figura 7. Porcentaje de CT promedio entre los componentes de las especies de coníferas. Ppse (*Pinus pseudostrobus*), Jfla (*Juniperus flaccida*). La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.2.3.1 CT (%) en los componentes de coníferas

El ANOVA bajo el diseño completamente al azar y con un nivel de significancia de $\alpha= 0.05$, determina que existen diferencias significativas ($Pr > 0.014126$) entre los

componentes de la biomasa aérea de este grupo de especies. La prueba de separación de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) muestra que sólo existen diferencias significativas entre el componente ramas con el componente corteza, con 49.93875 y 51.90635 % de CT, respectivamente (Cuadro 6, Figura 8).

Cuadro 6: Comparación de medias Tukey para CT por componente de las coníferas del bosque de pino – encino

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Ramas	49.93875	a
Fustes	50.32384	a b
Hojas	50.81104	a b
Corteza	51.90635	b

¹ Letras iguales son estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

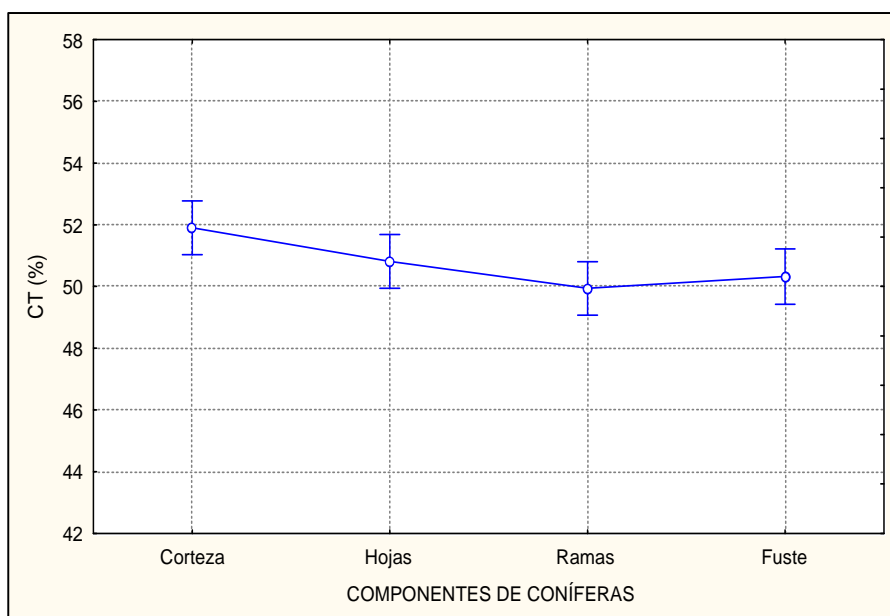


Figura 8. Porcentaje de CT promedio por componente del grupo de especies coníferas del bosque de pino – encino. La barra vertical indica el I. C. 95 %

Por otra parte Gayoso y Guerra (2002) encontraron que el contenido de carbono total en los componentes de 16 especies estudiadas, sólo manifestaron diferencias entre el componente fuste con el resto de éstos (corteza-ramas-hojas),

encontrándose un 53.01 % en el fuste de las coníferas *Podocarpus nubigena* y *Sexagothaea conspicua*.

5.2.3.2 CT (%) en *Pinus pseudostrobus*

El análisis de varianza realizado bajo el diseño completamente aleatorio (con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$), determinó que sólo existen diferencias significativas ($Pr > 0.031139$) entre los componentes de la biomasa aérea de esta especie. Por otra parte la prueba de separación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) muestra que dichas diferencias se encuentran entre el componente fuste y el componente corteza. Los porcentajes en el contenido de CT son 49.23156 y 51.82521, respectivamente (Cuadro 7).

Cuadro 7: Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie *Pinus pseudostrobus*

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Fuste	49.23156	a
Ramas	49.58042	a b
Hojas	50.75333	a b
Corteza	51.82521	b

¹ Letras iguales son estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

En la figura 9 se destaca el componente corteza como el de mayor contenido de carbono, tal y como lo demuestra la prueba de separación de medias Tukey, se presenta el mismo comportamiento que muestra para el grupo de especies de coníferas; otro aspecto que es importante destacar es que las ramas y el fuste presentan valores similares entre sí.

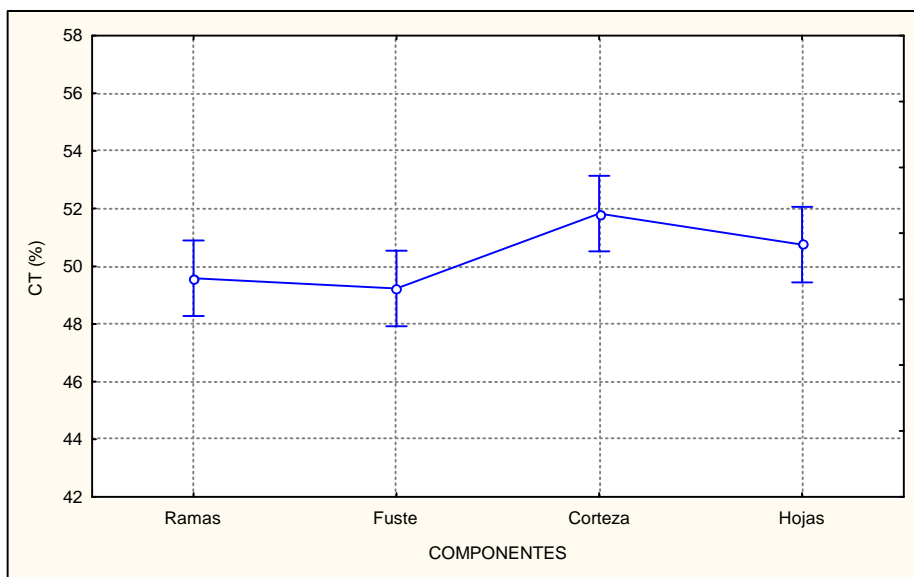


Figura 9. Porcentaje de CT promedio por componente en *Pinus pseudostrobus*. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.2.3.3 CT (%) en *Juniperus flaccida*

Para esta especie y con el ANOVA bajo el diseño completamente al azar, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, se encontró que no existen diferencias significativas ($Pr > 0.141090$) entre los componentes de la biomasa aérea.

En la figura 10 se destaca que los componentes de la biomasa aérea presentan el mismo comportamiento que en la figura 9. Lo anterior bajo el precepto de que *Juniperus flaccida* y *Pinus pseudostrobus* pertenecen al grupo de coníferas.

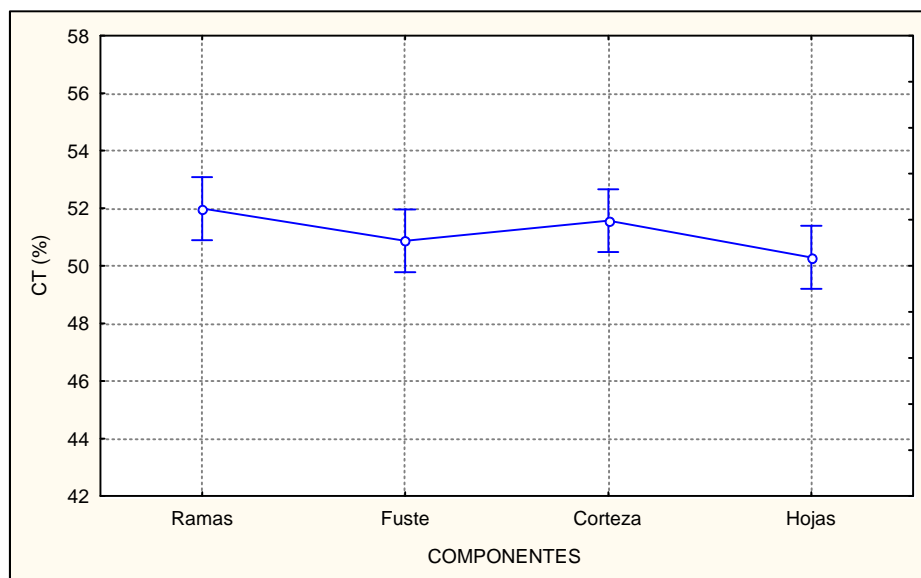


Figura 10. Porcentaje de CT promedio por componente en *Juniperus flaccida*. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.2.4 CT (%) entre los componentes de las latifoliadas

En el ANOVA factorial para el cual se determinaron dos factores, uno es las especies y el otro los componentes; y dentro de cada factor cuatro niveles para el primero y cuatro para el segundo. En dicho análisis resultó que hay diferencias altamente significativas entre los niveles del factor especies ($Pr > 3.25^{-08}$), así también resultaron diferencias altamente significativas entre los niveles del factor componentes ($Pr > 0.00$; Figura 10); mientras que la interacción resultó también altamente significativa ($Pr > 1.22^{-03}$; Figura 11).

Por lo tanto el ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio, donde se establecieron como tratamientos a los diez y seis componentes de las especies, determinó que hay diferencias altamente significativas entre los componentes de de estas especies ($Pr > 0.00$). La prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) determinó que el componente corteza de *Q. laceyi*, es estadísticamente diferente con un porcentaje inferior al resto de los componentes (43.65452 %), a excepción del componente corteza de *Q. rysophylla*, ya que presenta un porcentaje similar (44,42646); mientras que los componentes ramas, fuste y hojas de *Arbutus*

xalapensis se agrupan como los componentes de mayor contenido de CT, las hojas de esta especie es la que cuenta con el mayor contenido de CT de todos los componentes en las especies (55,04917 %).

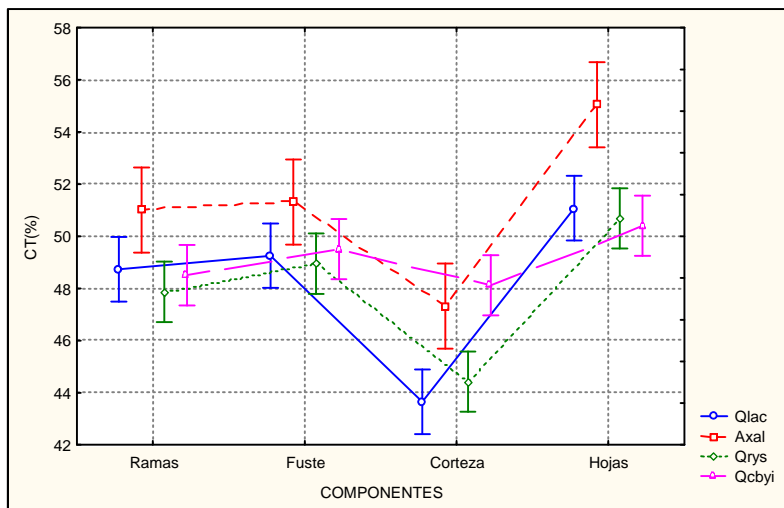


Figura 11. Porcentaje de CT entre los componentes de las especies de latifoliadas. Qlac (*Quercus laceyi*), Axal (*Arbutus xalapensis*), Qrys (*Quercus rysophylla*) y Qcbyi (*Quercus canbyi*). La barra vertical indica el I. C. 95 %

Cuadro 8: Comparación de medias Tukey para CT entre los componentes de las especies de latifoliadas

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Corteza <i>Q. laceyi</i>	43,65452	a
Corteza <i>Q. rysophylla</i>	44,42646	a b
Corteza <i>A. xalapensis</i>	47,32250	b c
Ramas <i>Q. rysophylla</i>	47,86792	c
Corteza <i>Q. canbyi</i>	48,12208	c d
Ramas <i>Q. canbyi</i>	48,50896	c d
Ramas <i>Q. laceyi</i>	48,73381	c d
Fuste <i>Q. rysophylla</i>	48,94562	c d
Fuste <i>Q. laceyi</i>	49,25222	c d
Fuste <i>Q. canbyi</i>	49,50820	c d
Hojas <i>Q. canbyi</i>	50,40708	c d
Hojas <i>Q. rysophylla</i>	50,68958	c d
Ramas <i>A. xalapensis</i>	51,00917	c d e
Hojas <i>Q. laceyi</i>	51,07857	d
Fuste <i>A. xalapensis</i>	51,31406	c d e
Hojas <i>A. xalapensis</i>	55,04917	e

¹ Letras iguales son estadísticamente iguales ($\alpha = 0.05$).

5.2.4.1 CT (%) en los componentes de latifoliadas

Para el contenido de carbono en los componentes de este grupo de especies, el ANOVA con el diseño experimental completamente aleatorio (con un nivel de significancia $\alpha= 0.05$), se determinó que existen diferencias altamente significativas ($Pr > 3.33^{-15}$) entre los tratamientos. La prueba de separación de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) (Cuadro 9) señala que el componente corteza es estadísticamente diferente al resto de los componentes, con un valor inferior a estos (45.75037 %), mientras que los componentes ramas y fuste no muestran diferencias estadísticas entre sí, ya que tienen valores de 48.74772 y 49.54268 %, respectivamente. Por otra parte el componente hojas es estadísticamente diferente a estos dos grupos, ya que muestra el porcentaje superior de los componentes (51.35259 %).

El contenido de carbono total en el componente fuste no difiere a los valores encontrados por Gayoso y Guerra (2002) ya que éstos reportan un 49.52 % para las especies de latifoliadas.

Cuadro 9: Comparación de medias Tukey para CT por componente de las latifoliadas del bosque de pino – encino

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Corteza	45.75037	a
Ramas	48.74772	b
Fuste	49.54268	b
Hojas	51.35259	c

¹ Letras iguales son estadísticamente iguales ($\alpha= 0.05$).

En la figura 12 se puede observar el comportamiento anteriormente descrito de los componentes de la biomasa aérea en latifoliadas y se destaca que la corteza presenta el valor menor, mientras que en las coníferas (Figura 8), éste muestra el valor superior.

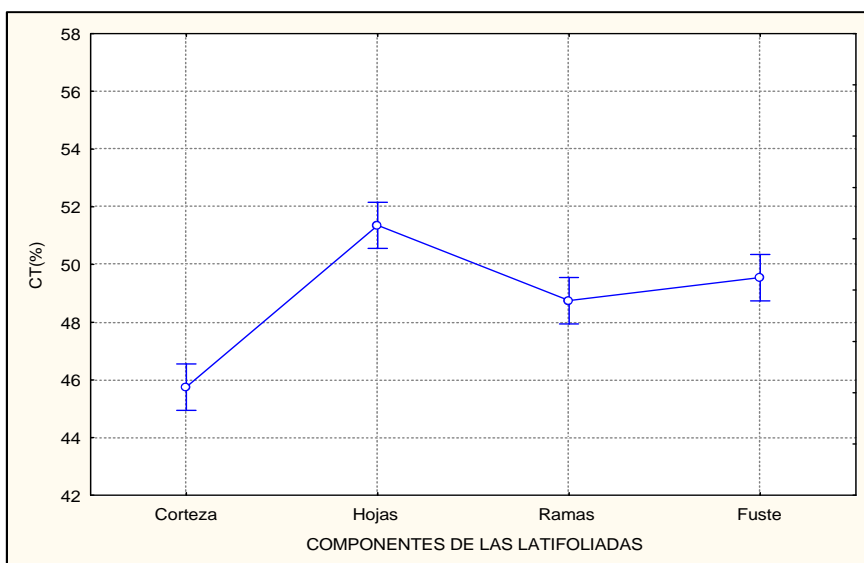


Figura 12. Porcentaje de CT promedio por componente del grupo de especies latifoliadas del bosque de pino – encino. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.2.4.2 CT (%) entre los componentes de *Quercus rysophylla*

El ANOVA realizado bajo el diseño completamente aleatorio ($\alpha = 0.05$), determinó que existen diferencias altamente significativas ($Pr > 6.58^{-09}$) entre los componentes de la biomasa aérea. Por lo tanto en la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) se observan tres grupos de medias (Cuadro 10), donde el componente corteza es estadísticamente diferente con valor inferior al resto de los componentes (44.42646 %), mientras que entre los componentes ramas, fuste y hojas sólo hay diferencias estadísticas entre ramas y hojas con valores de 47.86792 y 50.68958 % (Figura 13).

Cuadro 10: Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie *Quercus rysophylla*

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Corteza	44.42646	a
Ramas	47.86792	b
Fuste	48.94562	b c
Hojas	50.68958	c

¹ Letras iguales son estadísticamente iguales ($\alpha = 0.05$).

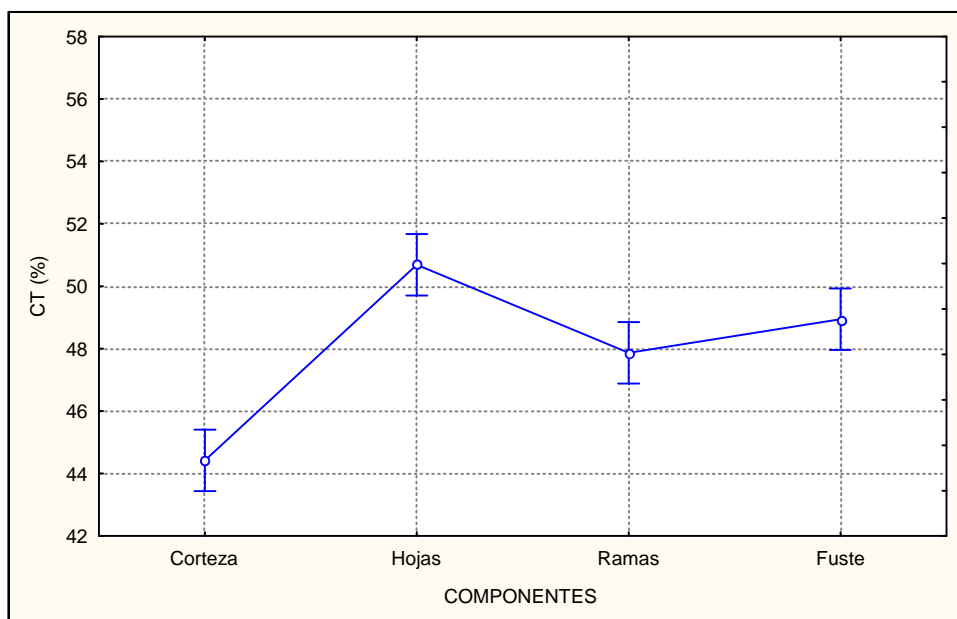


Figura 13. Porcentaje de CT promedio por componente de la especie *Quercus rysophylla*. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.2.4.3 CT (%) entre los componentes de *Quercus canbyi*

Para esta especie y de acuerdo al ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio ($\alpha = 0.05$), se determinó que sólo existen diferencias significativas ($Pr > 4.02 \cdot 10^{-2}$) entre los componentes de la biomasa aérea. Mientras que en la prueba de comparación de medias Tukey, determinó que los componentes en los que hay diferencias significativas es entre la corteza y las hojas, con 48.12208 y 50.40708 % (Cuadro 11). En la figura 14 se observa el mismo comportamiento del CT que en la especie *Q. rysophylla*

Cuadro 11: Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie *Quercus canbyi*

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Corteza	48.12208	a
Ramas	48.50896	a b
Fuste	49.50820	a b
Hojas	50.40708	b

¹ Letras iguales son estadísticamente iguales ($\alpha = 0.05$).

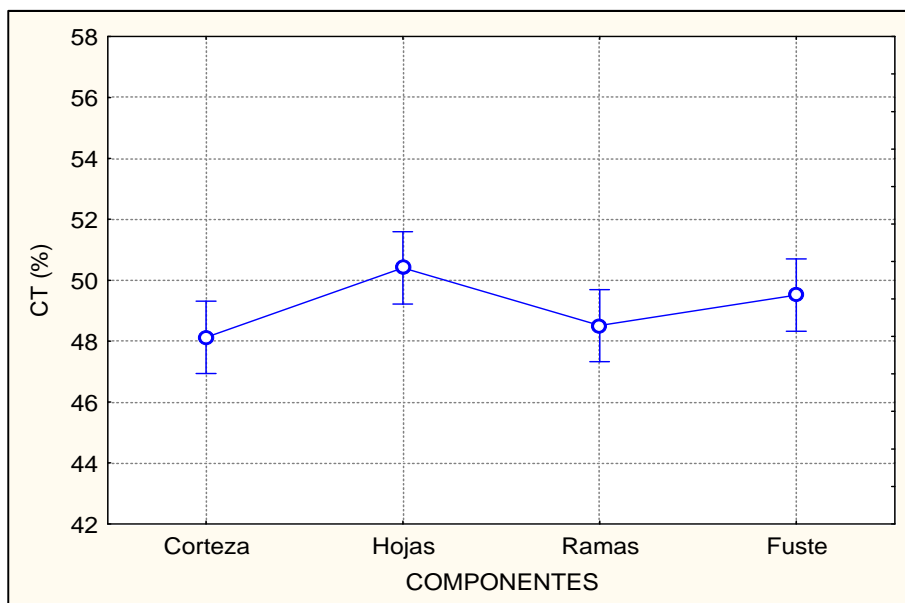


Figura 14. Porcentaje de CT promedio por componente de la especie *Quercus canbyi*. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.2.4.4 CT (%) entre los componentes de *Quercus laceyi*

El ANOVA realizado bajo el diseño completamente aleatorio ($\alpha= 0.05$), determinó que existen diferencias altamente significativas ($Pr > 5.7^{-07}$) 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 valor inferior (43.65452 %) al resto de los componentes (Cuadro 12; Figura 15).

Cuadro 12: Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie *Quercus laceyi*

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Corteza	43.65452	a
Ramas	48.73381	b
Fuste	49.25222	b
Hojas	51.07857	b

¹ Letras iguales son estadísticamente iguales ($\alpha= 0.05$).

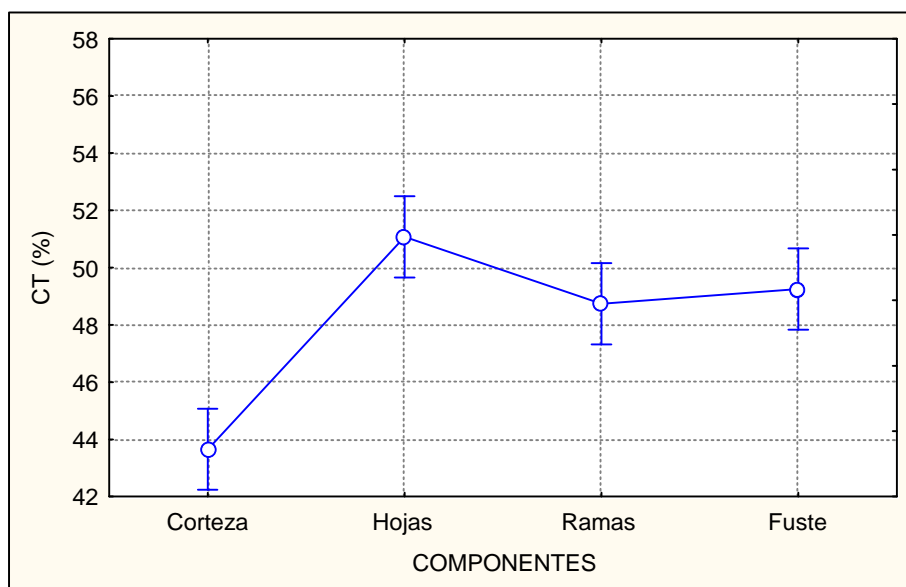


Figura 15. Porcentaje de CT promedio por componente de la especie *Quercus laceyi*. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.2.4.5 CT (%) entre los componentes de *Arbutus xalapensis*

El ANOVA ($\alpha=0.05$) determinó que existen diferencias altamente significativas entre los componentes de esta especie ($Pr > 9.15 \cdot 10^{-4}$); mientras que en el análisis de comparación de medias Tukey (Cuadro 13) estima que existen diferencias estadísticas entre los componentes hojas y el grupo integrado por la corteza y ramas, ya que el componente fuste es estadísticamente igual al primero; el componente con mayor contenido de CT en esta especie son las hojas (55.04917 %), seguido del fuste (51.31406 %); mientras que el de menor contenido es la corteza (47.32250 %).

En la figura 16 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.

Cuadro 13: Comparación de medias Tukey para CT por componente de la especie *Arbutus xalapensis*

Tratamiento	Media (%)	Agrupación Tukey ¹
Corteza	47.32250	a
Ramas	51.00917	a
Fuste	51.31406	a b
Hojas	55.04917	b

¹ Letras iguales son estadísticamente iguales ($\alpha= 0.05$).

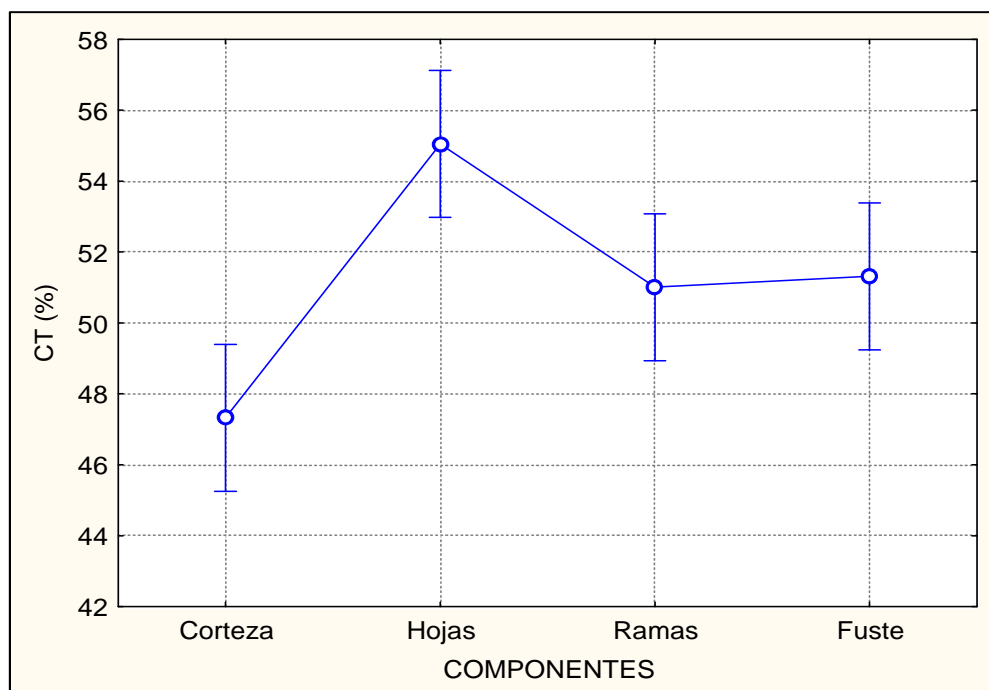


Figura 16. Porcentaje de CT promedio por componente de la especie *Arbutus xalapensis*. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.3 CT (%) en el fuste de las especies en estudio

El ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio ($\alpha= 0.05$) donde se consideró como tratamiento a cada una de las secciones y como repeticiones a cada una de las categorías diamétricas en cada especie, mostró los siguientes resultados.

5.3.1 CT (%) en el fuste de *Pinus pseudostrubus*

Para el CT en las secciones del fuste para esta especie, no se encontraron diferencias significativas ($Pr > 0.269350$); sin embargo se puede destacar que el

contenido de CT (%) presenta una tendencia a la alza conforme aumenta la altura en el fuste (Figura 17)

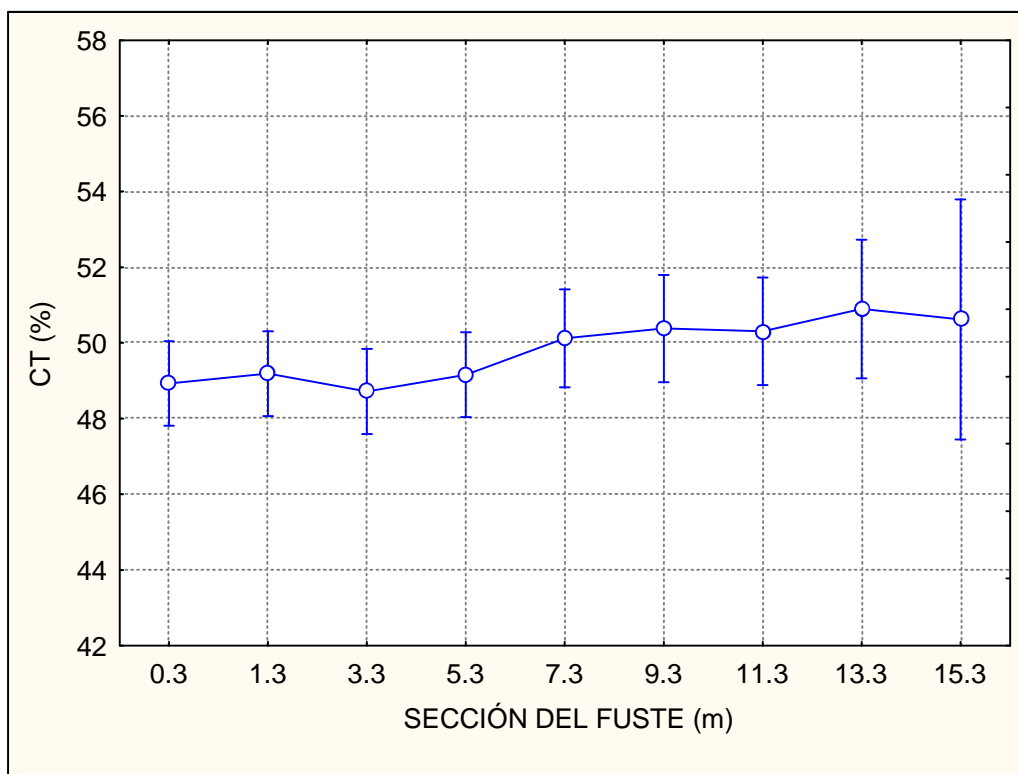


Figura 17. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Pinus pseudostrobus*. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.3.2 CT (%) en el fuste de *Juniperus flaccida*

De acuerdo al ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio ($\alpha= 0.05$), no se encontró diferencias significativas ($Pr > 0.373208$) entre las secciones del fuste de esta especie; sin embargo es importante destacar que se observa una tendencia a la baja conforme aumenta la altura del fuste (Figura 18), y que se comporta de manera inversa a *P. pseudostrobus*.

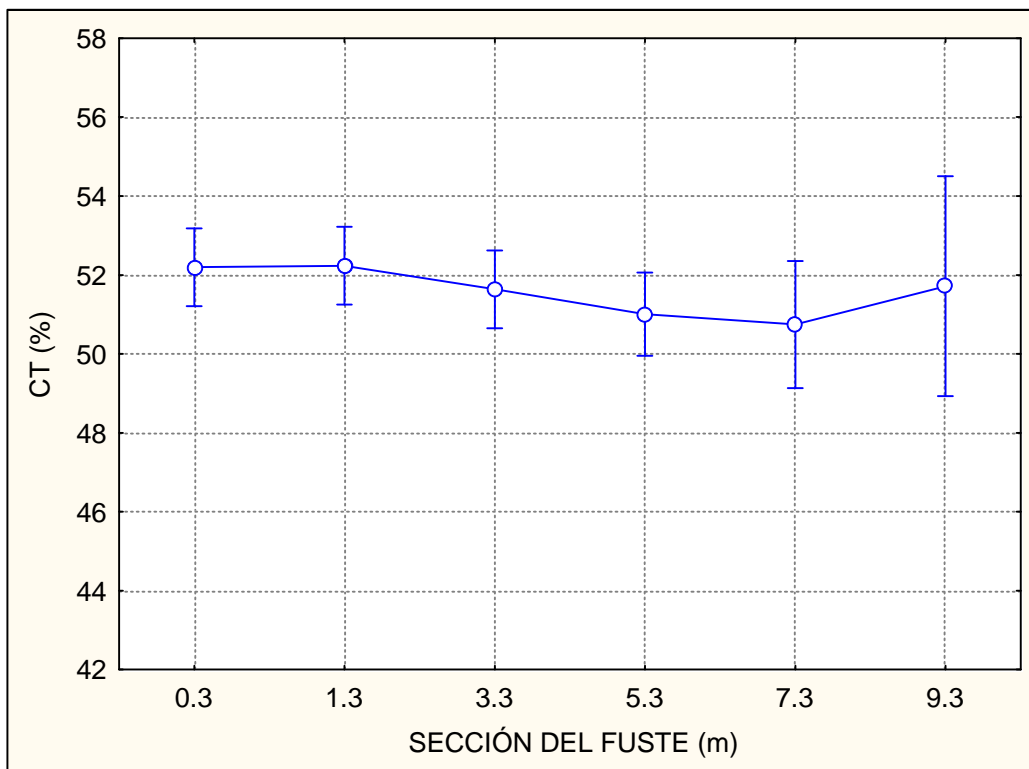


Figura 18. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Juniperus flaccida*. La barra vertical indica el I. C. 95 %

5.3.3 CT (%) en el fuste de *Quercus rysophylla*

Para esta especie y de acuerdo al ANOVA ($\alpha = 0.05$) no se encontró una diferencia significativa ($Pr > 0.693835$) entre las secciones del fuste de esta especie. En la figura 19 se observa también que existe una tendencia a la baja, conforme aumenta la altura del fuste. Sin embargo en la parte media del fuste se observa también un incremento y a partir de 5.3 m, éste baja.

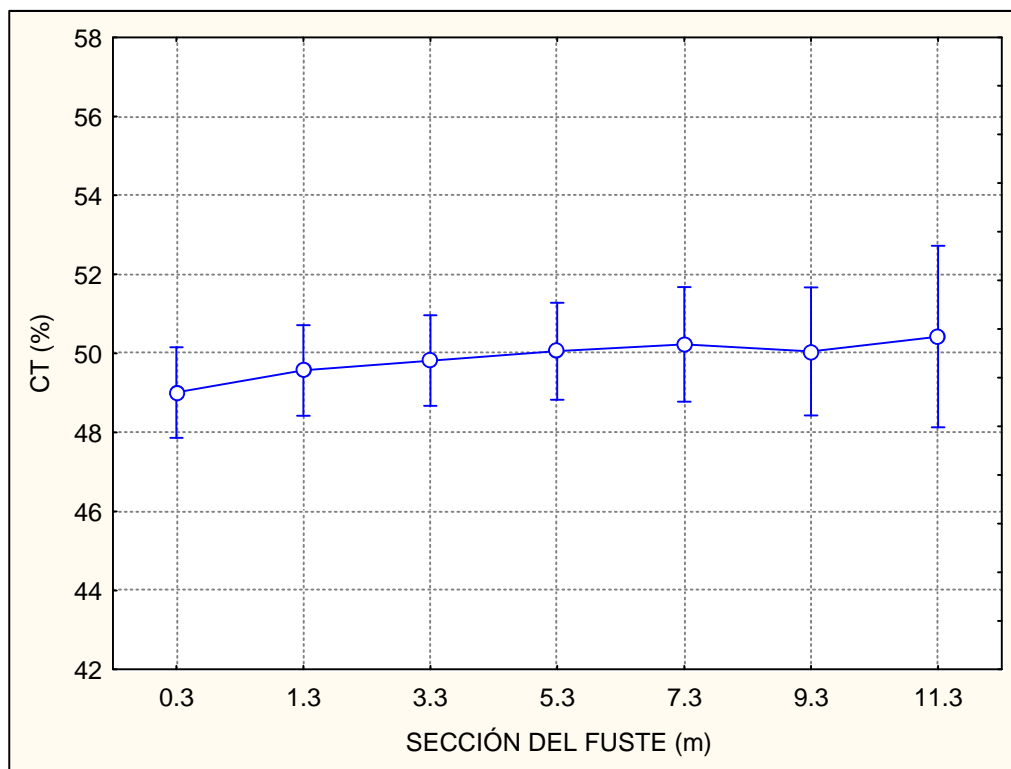


Figura 19. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Quercus rysophylla*. La barra vertical indica el I. C. 95 %.

5.3.4 CT (%) en el fuste de *Quercus canbyi*

Para esta especie y de acuerdo al ANOVA ($\alpha = 0.05$) no se encontró diferencias significativas ($Pr > 0.801413$) entre las secciones del fuste de esta especie. Se observa una ligera tendencia hacia la alza, conforme aumenta la altura del fuste aumenta el contenido de CT; el incremento del CT es del orden de 1 punto porcentual de 0.3 m hasta 11.3 m (Figura 20).

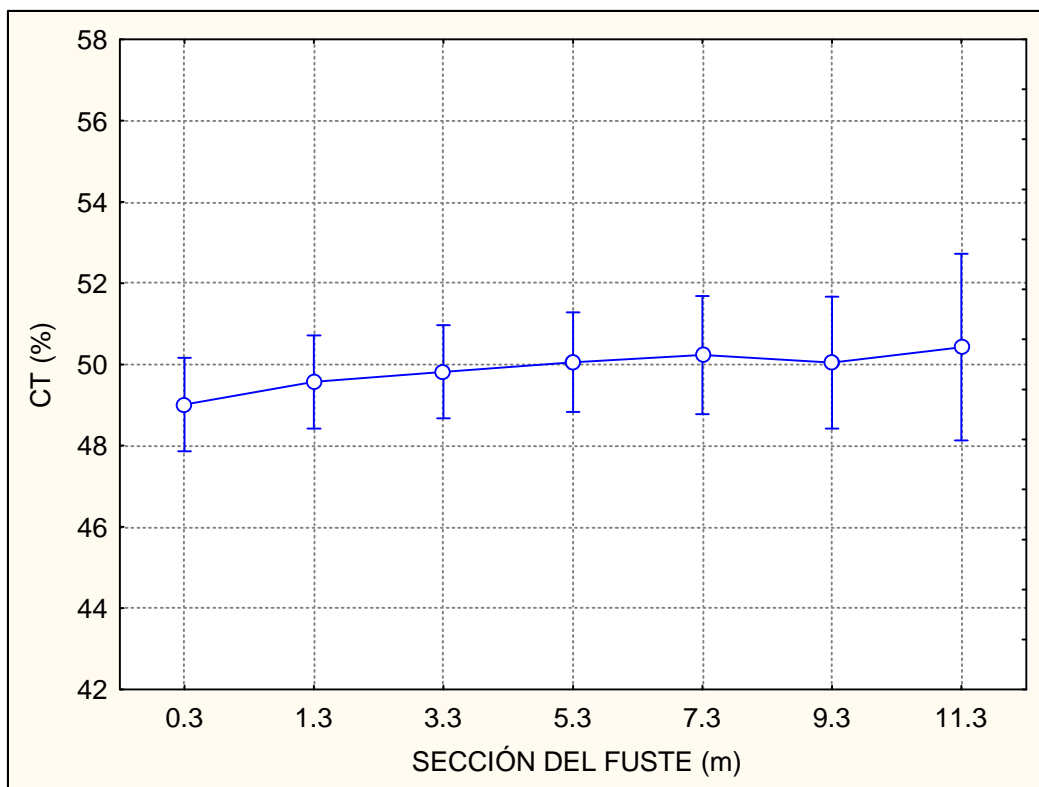


Figura 20. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Quercus canbyi*. La barra vertical indica el I. C. 95 %.

5.3.5 CT (%) en el fuste de *Quercus laceyi*

Los resultados obtenidos con el ANOVA ($\alpha= 0.05$) completamente al azar realizado para este especie, determinó que no existen diferencias significativas ($Pr > 0.772978$) entre las medias aritméticas del contenido de CT en las secciones del fuste. En la figura 21 se observa que el contenido de CT presenta una disminución a la altura de 3.3 m sin embargo, el contenido más bajo lo presenta en la última sección, es decir a los 9.3 m.

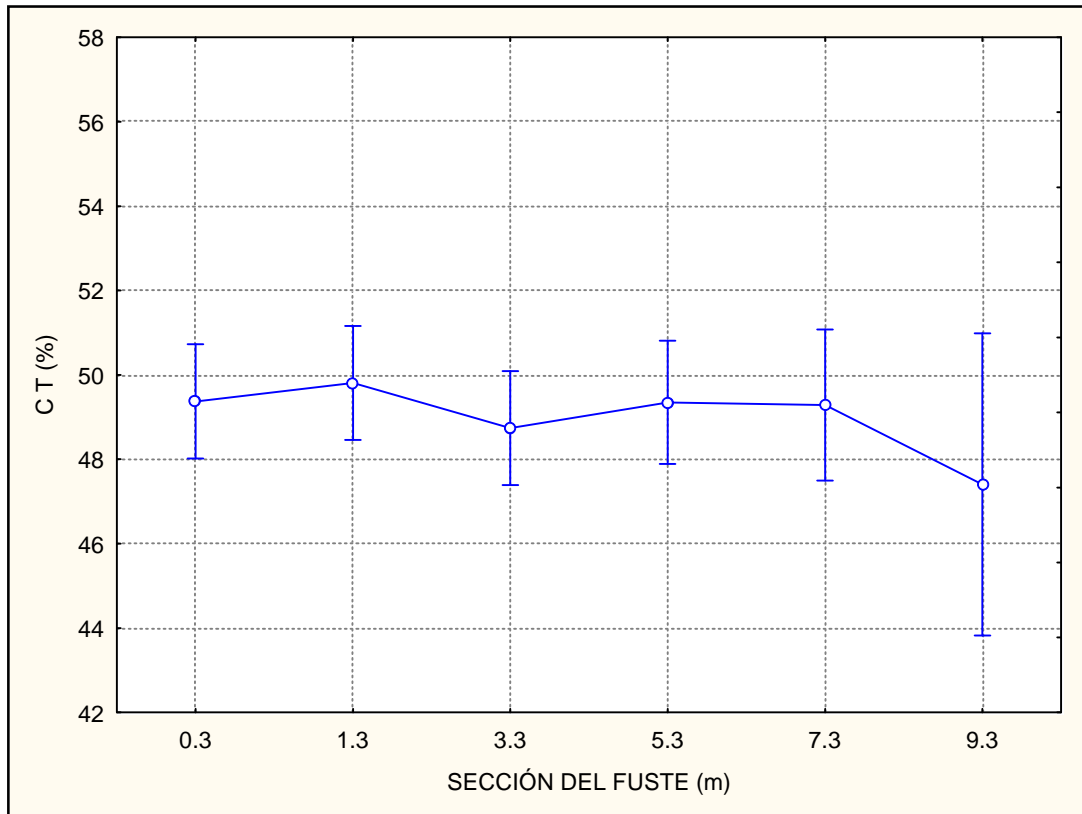


Figura 21. Porcentaje de CT promedio por sección del fuste en *Quercus laceyi*. La barra vertical indica el I. C. 95 %.

VI. CONCLUSIONES

El contenido de CT entre los componentes de la biomasa aérea en las especies representativas del ecosistema bosque de pino – encino es diferente; a excepción de *Juniperus flaccida* que no presenta una diferencia significativa entre el componente biomasa aérea. Existe una amplia variación en el contenido de CT entre los componentes de la biomasa aérea de todas las especies, ya que ésta es del orden de 12 puntos porcentuales entre la de menor contenido, que es la corteza de *Quercus laceyi* (43.65 %) y la de mayor, que es el componente hojas de *Arbutus xalapensis* (55.05 %).

El CT en los componentes de las especies de coníferas, las ramas es diferente al resto de éstos por abajo del valor generalizado para este grupo de especies; mientras que en las latifoliadas hay una mayor variación en el contenido de CT entre los componentes, las ramas y el fuste son similares, la corteza es diferente a éstos dos y además de las hojas que también el valor es distinto. El componente corteza en las coníferas es el que presenta mayor contenido de CT, mientras que en las latifoliadas éste se comporta de manera inversa, es decir, es el de menor contenido de CT.

El contenido de CT en los componentes fuste y ramas en cada una de las especies es similar; así también para grupos de especies, en coníferas y en latifoliadas; dichos componentes son similares a nivel grupo de especie. Es decir ramas de coníferas, fuste de coníferas, ramas de latifoliadas y fuste de latifoliadas son similares.

Por otra parte el contenido de CT promedio por especie, en *Q. rysophylla* y *Q. laceyi* es diferente al de las coníferas *P. pseudostrobus* y *J. flaccida*, además al de *A. xalapensis*, mientras que *Q. canbyi* aún que es similar al de las otras dos especies del género *Quercus* citados anteriormente, es semejante al de *P. pseudostrobus* y *A. xalapensis*; el rango de variación del contenido de CT entre las especies es del orden de los tres puntos porcentuales. La especie con menor contenido de CT por unidad de biomasa base peso seco es *Q. rysophylla*, mientras que la de mayor contenido es *J. flaccida*.

A pesar de que el contenido de carbono en la biomasa aérea entre los grupos de especies presentes en el área de estudio se encuentra en los rangos que algunos autores utilizan (50 – 53 para coníferas y 47 – 50 para latifoliadas); analizándolos de forma individual hay una especie de latifoliada (*Arbutus xalapensis*) que se agrupa dentro de las coníferas por su alto contenido de CT; por lo tanto, generalizar el contenido de CT de esta manera podría proporcionar subestimación o sobrestimación del carbono capturado en los ecosistemas forestales. Para las coníferas (50.76 %) el contenido de CT es diferente al de las latifoliadas (48.85).

La especie *Arbutus xalapensis* 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 (47.3225 %) y el mayor lo tiene en las hojas (55.04917%).

No existen diferencias significativas en el contenido de CT en la sección longitudinal del fuste en ninguna de las especies representativas del ecosistema bosque de pino – encino en el área de estudio.

El contenido de CT promedio general en la biomasa aérea de las especies del bosque de pino-encino (49.56%) es muy similar al promedio generalizado (50 %) utilizado por algunos autores (IPCC, 1996; Brown, 1997; Birdsey y Heath, 2001).

VII. RECOMENDACIONES

Para la estimación del contenido de carbono almacenado en los ecosistemas de bosque de pino – encino en áreas con condiciones similares al presente trabajo; en coníferas como *Pinus pseudostrobus* y *Juniperus flaccida*, se recomienda utilizar el porcentaje promedio para este grupo de especies (50.76 %) dado la baja variabilidad del contenido de CT entre los componentes de ambas especies de este grupo. Sin embargo para latifoliadas (conformado principalmente por especies del género *Quercus*) sí es importante aplicar el contenido de CT en corteza (45.75 %) en este componente y el de hojas (51.35 %), mientras que para ramas y fuste se puede aplicar cualquiera de estos valores, ya que son similares (48.75 % y 49.54 % respectivamente).

Si se desea estimar el contenido de carbono por grupos de especies, se recomienda utilizar el 50.76 % para las coníferas y 48.85 % para las latifoliadas.

Si se desea utilizar un promedio general de CT para ambos grupos de especies, se puede utilizar el 49.56 %.

Para obtener un contenido de CT promedio más representativo en las especies, es recomendable determinarlo de manera ponderada con la biomasa de cada componente.

Las estimaciones del contenido de carbono en los ecosistemas forestales deberían de realizarse a nivel especie, para obtener mayor confiabilidad en los resultados y evitar estimaciones inadecuadas en el valor real.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta, M., Hernández J., Martínez A. y Barra, J. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*. Vol. 36, N° 6: 725 – 736.
- Acosta, M., Quendnow K., Etecheveus, J. y Monreal, C. 2001. Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México: 1 – 7. In: *IUFRO world series* Vol. 13. Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Tomo II. Formato digital <http://iufro.boku.ac.at/> .
- Alig, R. J., Adams, D., y McCarl, B. 2002. Projecting Impacts of Global Climate Change on the US Forest and Agriculture Sectors and Carbon Budgets. *Forest Ecology and Management*. Vol. 169: 3 -14.
- Bauer, M., Belza, C., Betz, R., Chiliquinga, B., Gasca, R., Sordo, G., Carranza, L., Barrio, P., Reinking, A., Fernández, R., Bustamante, S. y Toro, F. 2005. Metodologías para la implementación de los mecanismos flexibles de Kioto–Mecanismos de Desarrollo Limpio en Latinoamérica. En internet: <http://www.cordelim.netextrahtmlpdflibraryolade.pdf>.
- Binkley, C., Apps, M., Dixon, R., Kauppi, P., y Nilsson, L. 1997. Sequestering Carbon in Natural Forests. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Special Issue: Economics of Carbon Sequestration in Forestry. Vol. 27: 23-45.

Birdsey, R., y Heath, L. 2001. Forest Inventory Data, Models, and Assumptions for Monitoring Carbon Flux. Science Society of America. Special Publication Number 57. Madison, WI, USA. pp.: 125-135.

Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. FAO forestry paper 134. Rome, Italy. 104 p.

Castro, R. y Cordero, S. 2001. Forest Tropical and the Emerging CO₂ Market. Investigación Agraria. Nº 11. INIA, España. pp.:185 – 203.

Cantú, I. y González, H. 2002. Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. Ciencia UANL. Vol. V. Num. 1. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México: 72-78

FAO. 2005. Situación de los bosques del mundo. FAO. Roma, Italia. 153 p.

García, M. 2000. Compartimentos y flujos de biomasa y nutrientes en un pinar de *Pinus sylvestris* L. en el monte del Valsaín. Monografía INIA: Forestal Nº 2. Ministerio de Ciencia y Tecnología Madrid, España. 178 p.

García, C., Sabaté, S., Vayreda, J., y Ibáñez, J. 2002. Aboveground Biomass Expansion Factors and Biomass Equations of Forests in Catalonia. CREAM. Valencia, España.

Gayoso, J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. 22 p. en internet:
<http://www.uach.cl/procarbono/Documentos/trabajo%20Gayoso.pdf>

Gayoso, J. y Guerra, J. (2002). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. Bosque. 26 (2). Valdivia, Chile: 33-38.

- Gutiérrez, V. y Lopera, G. 2001. Metodología para la cuantificación de existencias y flujos de carbono en plantaciones forestales: 75 - 85. In: IUFRO world series Vol. 13. Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Tomo II. Formato digital <http://iufro.boku.ac.at/> .
- Guzmán, A., Laguna, I., y Martínez, J. 2004. Los mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. In: Martínez, J y Fernández, A. (Comp.). Cambio climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México, D. F. pp.: 177-187.
- HariPriya, S. 2002. Biomass Carbon of Truncated Diameter Classes in Indian Forests. Forest Ecology and Management. Vol. 168: 1 -13.
- Houghton, J. 1997. Global Warming. The Complete Briefing. Cambridge University. United Kingdom. 251 p.
- Husch, B. 2001. Estimación del contenido de carbono de los bosques. Simposio internacional. Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile.
- INEGI. 1986. Síntesis geográfica del estado de Nuevo León. 1ª reimpresión. SPP, México, D. F. 184 p.
- INE-SEMARNAP. 2000. Balance del Programa de Áreas Naturales Protegidas. México. pp.: 55.
- IPCC, 1996. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 3. Revised Version. London.

IPCC. 2005. Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge University. NY, USA. 431 p.

Janssens, A., Sampson, A., Curiel -Yuste, J., Carrara, A. y Ceulemans, R. 2002. The Carbon Cost of Fine Root Turnover in a Scots Pine Forest. *Forest Ecology and Management*. Vol. 168: 231 - 240.

Jaramillo, V. 2004. El ciclo global del carbono. *In: Martínez, J y Fernández, A. (Comp.). Cambio climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México, D. F. pp.: 77-85*

Jiménez, J., Aguirre, O. y Kramer, H. 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el Norte de México. *Investigación Agraria. Sistemas y recursos forestales*. Vol. 10 (2). Ministerio de Ciencia y Tecnología. INIA. España. pp.: 356 – 366.

Jong, B., Masera, O., y Hernández, T. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. *In: Martínez, J y Fernández, A. (Comp.). Cambio climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México, D. F. pp.: 369-380.*

Lal, R. 2001. Soils and the Greenhouse Effect. Soil Science Society of America. Special Publication Number 57. Madison, WI, USA. pp.: 1-8.

Lee, J., Morrison, I., D., Leblanc, T., Dumas y Cameron, D. 2002. Carbon Sequestration in Trees and Regrowth Vegetation as Affected by Clearcut and Partial Cut Harvesting in a Second-Growth Boreal Mixedwood. *Forest Ecology and Management*. Vol. 169: 83 -101.

López, T., A. 2006. Estimación de factores de expansión de volumen a biomasa y carbono en ecosistemas forestales en Chihuahua, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales – UANL, Linares, N. L., México. 59 p.

-
- Masera, O., Bellon, M., y Segura, G. 1997. Forestry Options for Sequestering Carbon in Mexico: Comparative Economic Analysis of Three Case Studies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Special Issue: Economics of Carbon Sequestration in Forestry. Vol. 27: 227-244.
- Méndez, E. 2001. Ecuaciones de biomasa para especies de matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México. Datos con aplicaciones para inventario de biomasa. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales – UANL, Linares, N. L., México. 60 p.
- Ordóñez, A. 1999. Estimación de la captura de carbono. Un estudio de caso. Instituto de Ecología. México, D. F.
- Ordóñez, J. A. B., Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*. Vol. 7, Núm. 1. México.: 3-12.
- Ordóñez, J. A., Jong, B., y Masera O. 2001. Almacenamientos de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques*. Vol. 7, Núm. 2. México.: 27-47.
- Pacheco, E. F., Aldrete, A., Gómez, A., Fierros, A., Cetina, V., y Vaquera, H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 30, Núm. 3. Chapingo, México.: 251-254.
- Pardos, A. 1999. Ante un cambio climático: papel de los montes arbolados y los productos forestales en la retención de carbono. *Investigación Agraria*. Ministerio de Ciencia y Tecnología. INIA. España: N° 1: 93 – 99.

Rodríguez, L. R., Jiménez, J., Aguirre, O., y Treviño, E. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. Ciencia UANL. Vol. IX. Num. 2. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México: 179-187.

Rodríguez, y Pratt, L. 1998. Potencial de carbono y fijación de dióxido de carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los bosques del Salvador. <http://www.incae.ac.cr/ES/clacds/investigacion/pdf/cen741.pdf>

Rojas, G. M. 1993. Fisiología vegetal aplicada. 4 ed. Ed. Mc Graw – Hill, México, D. F. 275 p.

Saarnio, S., Alm, J., Matikainen, P. y Silvoa, J. 1998. Effects of Raised CO₂ on Potential CH₄ Production and Oxidation in, and CH₄ Emission From a Boreal Mire. Journal of ecology. Vol. 86, N° 2.

Salisbury, B. y Ross, C. 1994. Fisiología vegetal. Virgilio González V. (traducción). Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. 759 p.

Sclegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Universidad austral de Chile. En Internet: <http://uach.cl/pocarbono/Documentos/trabajo%20schlegel.pdf>

Seely, B., Welham, C. y Kimmins, H. 2002. Carbon Sequestration in a Boreal Forest Ecosystem: Results From the Ecosystem Simulation Model, FORECAST. Forest Ecology and Management. Vol. 169: 123 -135.

SEMARNAT, 2001. México 2ª Comunicación Nacional ante la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE. México, D. F. 374 p.

- Silva, A. F. 2006. Estimación de factores de expansión de biomasa y carbono en ecosistemas forestales del norte de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales – UANL, Linares, N. L., México. 78 p.
- Steel, D. y Torrie, J. 1986. Bioestadística: principios y procedimientos. Ricardo Martínez B. (Traducción). Ed. Mc Graw – Hill. México, D. F. 622 p.
- Torres-Rojo, J. M., Flores-Xolocotzi, R. 2001. Deforestation and Land Use Change in Mexico. *In*: Dore, M. H. I. (comp.). Climate Change and Forest Management in the Western Hemisphere. FPP, NY, USA. 171-192 .
- Valero, E. 2004. El ciclo del carbono en el sector forestal. “Los bosques como sumideros de carbono: una necesidad para cumplir con el protocolo de Kyoto”. Universidad de Vigo. Madrid, España. 12 p. <http://webs.uvigo.es/giaf4>.
- Victor, D. G. 2001. The Collapse of the Kyoto Protocol and the Struggle to Slow Global Warming. Princeton University. New Jersey, USA. 178 p.
- 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. Facultad de Agrobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 42 p.