

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN
BOSQUES DEL SUR DE NUEVO LEÓN**

TESIS DE MAESTRÍA

PRESENTADO POR:

ING. GABRIEL DOMÍNGUEZ CABRERA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE**

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

LINARES, N. L., JUNIO DE 2005

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN BOSQUES DEL
SUR DE NUEVO LEÓN**

TESIS DE MAESTRÍA

PRESENTADO POR:

ING. GABRIEL DOMÍNGUEZ CABRERA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

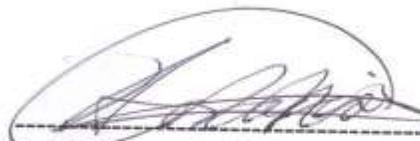
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES



**Dr. Oscar A. Aguirre Calderón
Presidente**



**Dr. Javier Jiménez Pérez
Secretario**



**Dr. Horacio Villalón Mendoza
Vocal**

LINARES, N. L., JUNIO DE 2005

Dedicatoria

Dedico sinceramente y de todo corazón esta tesis de maestría a :

A Jehová por permitirme seguir con vida aunque yo me haya desviado de sus caminos y por darme la oportunidad de concluir estos estudios, ya que todos los esfuerzos, metas, logros se los debo a el y a mi familia.

A mi madre Rosa Cabrera Martínez, por que a pesar de estar tan lejos en ningún momento a dejado de apoyarme, por darme la vida y sobre todo por su amor incondicional.

A mi padre Olegario Domínguez Luna.

A todos mis hermanos, hermanas sobrinos, sobrinas, tías, tios por que moralmente siguen presentes en mi mente aunque estén lejos y sea difícil verlos.

A mi hija Susan por ser lo más importante en mi vida y verla crecer me impulsa a seguir luchado para conseguir mis metas.

A mi esposa Xanat por todo el amor brindado y sobre todo por su apoyo incondicional y moral.

A mi suegra, cuñados, sobrinos y sobrinas por parte de mi esposa.

Al profesor Miguel Esquivel Borrego, por creer en mi, por apoyarme desde la preparatoria y sobre todo en la licenciatura.

Agradecimientos

Es agradable saber que en este mundo hay personas que te brindan su amistad y cuando uno los necesita te apoyan incondicionalmente . Tengo que agradecerle a dios y a mucha gente con la que compartí experiencias

Mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el otorgamiento de la beca y apoyo al proyecto de tesis .

Al Dr. Oscar A. Aguirre Calderón especialmente por su apoyo en la dirección de esta tesis y por su amistad durante mi estancia como estudiante en la facultad.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por el apoyo de material de campo y su amistad

Al Dr. Horacio Villalón Mendoza, por sus consejos, asesorías y por el apoyo con material de laboratorio para secar muestras.

A Rodrigo Rodríguez por su amistad incondicional por el apoyo en el levantamiento de datos en campo y sobre todo por ser un gran amigo.

A José A. Díaz , por su amistad apoyo en campo y consejos.

A Eliud, Dorian, Nacho, Juan, por haberme ayudado en el inventario de campo y por su amistad.

A Heriberto, Armando, a todos los demás compañeros de maestría de generaciones antes y después de la mía.

A todos los doctores, personal administrativo y docente de la Facultad de Ciencias Forestales que contribuyeron a mi formación.

ÍNDICE

Contenido	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis.....	3
1.2. Objetivo general	3
1.3. Objetivos específicos	3
II. ANTECEDENTES	4
2.1. Dióxido de carbono en la atmósfera	4
2.2. ¿Cómo actúa la vegetación como sumidero de carbono?	5
2.3. Ecuaciones de biomasa	7
2.4. Estimación de carbono en inventarios	10
III. METODOLOGÍA	12
3.1 Descripción de área de estudio.....	12
3.1.1. Ubicación del área de estudio	12
3.1.2. Clima	13
3.1.3. Suelo	13
3.1.4. Fisiografía y orografía	13
3.1.5. Vegetaciónv	14
3.2 Descripción y distribución geográfica de las especies	14
3.2.1. <i>Pinus teocote</i>	14
3.2.2. <i>Pinus pseudostrobus</i>	15

3.2.3.	<i>Quercus</i> spp.	16
3.3	Materiales y métodos	17
3.3.1.	Ajuste de ecuaciones	17
3.3.2.	Inventario de carbono	20
3.3.2.1.	Diseño de muestreo	20
3.3.2.2.	Parcelas de inventario de carbono	20
3.3.3.	Evaluación del carbono capturado	23
3.3.3.1.	Biomasa sobre el suelo	23
3.3.3.2.	Biomasa arbórea > de 5cm diámetro a 1.3 m	23
3.3.3.3.	Biomasa de tallos leñosos < 5 cm diámetro a 1.3 m, necromasa y hojarasca	24
3.4	Análisis de datos.....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		26
4.1.	Ajuste de modelos para biomasa	26
4.1.1.	Ajuste de modelos para <i>Pinus pseudostrobus</i>	27
4.1.2.	Ajuste de modelos para <i>Quercus</i> spp.	31
4.1.3.	Ajuste de modelos para <i>Pinus teocote</i>	36
4.2.	Inventario y evaluación de carbono	40
4.2.1.	Inventario de carbono en árboles	40
4.2.2.	Evaluación e inventario de carbono en la necromasa y hojarasca	42
4.3.	Análisis de varianza	43
4.3.1.	Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para las especies dentro de los tipos bosque	43

4.3.2	Análisis de varianza entre tipos de bosque, para necromasa y hojarasca	44
V.	CONCLUSIONES	45
VI.	LITERATURA CITADA	47
ANEXOS	52

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Depósitos superficiales de carbono en los bosques tropicales	6
Cuadro 2. Depósitos de carbono en suelos tropicales	6
Cuadro 3. Modelos de ajustes de biomasa	19
Cuadro 4. Valores de peso seco obtenidos por especie	26
Cuadro 5. Valores de $Sx\%$, R^2 y parámetros de estimación correspondientes a cada modelo ajustado para <i>Pinus pseudostrobus</i> utilizando diámetro de copa	27
Cuadro 6. Valores de $Sx\%$, R^2 y parámetros de estimación correspondientes a cada modelo ajustado para <i>Pinus pseudostrobus</i> utilizando diámetro a 1.3 m	29
Cuadro 7. Modelos de biomasa para <i>Pinus pseudostrobus</i> utilizando diámetro normal y h	29
Figura 5. Dispersión de datos y tendencia según los modelos ajustados en diámetro normal y h para <i>Pinus Pseudostrobus</i>	31
Cuadro 8. Modelos de biomasa para <i>Quercus</i> spp. utilizando diámetro de copa	32
Cuadro 9. Modelos de biomasa para <i>Quercus</i> spp utilizando diámetro a 1.3 m	32
Cuadro 10. Modelos de biomasa para <i>Qercus</i> spp. utilizando diámetro a 1.3 m y h ...	35
Cuadro 11. Modelos de biomasa para <i>Pinus teocote</i> utilizando diámetro de copa	36
Cuadro 12. Modelos de biomasa para <i>Pinus teocote</i> utilizando diámetro 1.3 m	36
Cuadro 13. Modelos de biomasa para <i>Pinus teocote</i> utilizando diámetro a 1.3 m y h	39
Cuadro 14. Datos de especie, número de individuos, toneladas de biomasa y carbono por hectárea para el bosque de pino	41
Cuadro 15. Datos de especie, número de individuos, toneladas de biomasa y carbono por hectárea para el bosque de encino-pino	41

Cuadro 16. Datos de especie, número de individuos, toneladas de biomasa y carbono por hectárea para el bosque de pino-encino 42

Cuadro 17. Valores de porcentaje de carbono, biomasa, carbono capturado encontrados en necromasa y hojarasca por tipo de bosque 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio	12
Figura 2. Parcelas de muestreo de 400 m ² para el inventario de árboles	21
Figura 3. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en diámetro de copa para <i>Pinus Pseudostrobus</i>	28
Figura 4. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en diámetro de diámetro a 1.3 m <i>Pinus Pseudostrobus</i>	30
Figura 5. Dispersión de datos y tendencia según los modelos ajustados en diámetro a 1.3m y h para <i>Pinus Pseudostrobus</i>	31
Figura 6. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en DC para <i>Quercus</i> spp.	33
Figura 7. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en diámetro a 1.3 m para <i>Quercus</i> spp.	34
Figura 8. Dispersión de datos y tendencia según los modelos ajustados en diámetro a 1.3 m y h para <i>Quercus</i> spp.	35
Figura 9. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en DC para <i>Pinus teocote</i>	37
Figura 10. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en diámetro a 1.3 m para <i>Pinus teocote</i>	38
Figura 11. Dispersión de datos y tendencia según los modelos ajustados en diámetro a 1.3 y h para <i>Pinus teocote</i>	39

RESUMEN

La creciente concentración de Dióxido de Carbono en la atmósfera es un problema global de graves consecuencias. El objetivo fue, por lo tanto, evaluar la capacidad de absorción de Carbono de los bosques del sur de Nuevo León, y probar que esta capacidad varía entre diferentes tipos de bosque.

Para ello, se derribaron de 8 a 12 árboles de *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrabus* y *Quercus spp.*, obteniendo el peso seco total y ajustando ecuaciones para diámetros superiores a 1.3 m. La función de mejor ajuste para estas especies fue la de Michailoff, obteniendo una R^2 mayor o igual a 0.89. Con esta ecuación se estimó la biomasa de 1,053 árboles medidos en 68 sitios de muestreos abarcando 400 m². La biomasa en el bosque de pino fue de 125.32 MgB/ha, en el de encino-pino de 112.58 MgB/ha y en el de pino-encino de 96.68 MgB/ha. El contenido promedio de carbono por especie se determinó con el programa Solids TOC Analyzer, siendo de 49.7% en *Pinus pseudostrabus*; 50.2% en *Pinus teocote* y 48.6% en *Quercus sp.*

Multiplicando el contenido de carbono por la biomasa de cada especie, se estimó el contenido de carbono por tipo de bosque en Mega gramos por hectárea (MgC/ha), considerando dosel, hojarasca y necromasa. El contenido de carbono en el dosel oscila entre 51.68 MgC/ha y 62.35 MgC/ha, mientras que en la hojarasca varía entre 0.612 MgC/ha y 2.394 MgC/ha. En la necromasa el valor máximo fue de 0.980 MgC/ha en el bosque de pino y el mínimo de 0.286 MgC/ha en el de pino-encino.

Los análisis de varianza de las especies dentro de los tipos de bosque presentaron diferencias significativas al 0.05 de probabilidad.

Se comparó que el contenido de carbono en las diferentes especies por tipo de vegetación, mediante la prueba de medias de Tukey al 0.05. En el bosque de pino, la media de *Pinus pseudostrabus* (4.95 MgC/ha), difiere de la media de *Pinus teocote* (1.14 MgC/ha). En el bosque de pino-encino, la media de *Pinus teocote* (3.45 MgC/ha) difiere significativamente de la media de *Pinus pseudostrabus* (0.535 MgC/ha) y de *Quercus spp.* (0.540 MgC/ha), las cuales no presentaron diferencias. En el bosque de encino-pino, la media de *Quercus spp.* (4.02 MgC/ha) difiere de la media de *Pinus teocote* (1.00 MgC/ha).

El análisis de varianza del contenido de carbono en la necromasa y hojarasca dentro de los tipos de vegetación no presenta diferencias, mientras el análisis del contenido de carbono en el dosel de los diferentes tipos de bosques muestra diferencias significativas con 95% de seguridad.

SUMMARY

Growing accumulation of Carbon Dioxide in the atmosphere is a global concern of serious outcomes. Therefore, the main objective was to evaluate forest capacity for carbon sequestration at the South of Nuevo León, in order to test that this capacity varies among forest types.

To do so, from 8 to 12 trees belonging to *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus* and *Quercus spp.*, were felled to obtain total dry weight and to adjust diameter equations for diameters above 1.3 m. Best adjustment function for these species was Michailoff's giving a R^2 value equal or above 0.89. Biomass of 1,053 trees measured at 68 sampling sites of 400 sq m was estimated using this equation. Biomass at pine forest was 125.32 TB/ha, at Quercus-pine forest was 112.58 TB/ha, and at pine-quercus was 96.68 TB/ha.

Average carbon content for each species was calculated using the Solids TOC Analyzer, being 49.7% in *Pinus pseudostrobus*, 50.2% in *Pinus teocote*, and 48.6% in *Quercus spp.*

Carbon content (TC/ha) at each forest type was estimated multiplying the carbon content by the biomass of each species, considering canopy, dead leaves and humus. Canopy carbon content ranges from 51.68 to 62.35 TC/ha, while for dead leaves it ranges from 0.612 TC/ha to 2.394 TC/ha. At the humus, its maximum value was 0.980 in the pine forest, and reached its minimum was 0.286 TC/ha in the pine-quercus forest.

ANOVA of species inside forest types showed meaning differences using 0.05 of probability.

The carbon content of the species was compared within vegetation types using Tukey averages at 0.05. At the pine forest, *Pinus pseudostrobus* (4.95 MgC/ha), differs from *Pinus teocote* (1.14 MgC/ha). Whereas, at the pinus-quercus forest, *Pinus teocote* (3.45 MgC/ha) differs from *Pinus pseudostrobus* (0.535 MgC/ha) and from *Quercus spp.* (0.540 MgC/ha), and the last two showed no differences. At the quercus-pine forest, *Quercus spp.* (4.02 MgC/ha) differs from *Pinus teocote* (1.00 MgC/ha).

Within forest types the ANOVA of the carbon content in dead leaves and humus showed no differences, whereas in the canopy there are meaning differences among forest types using 95% security.

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento de la atmósfera es un problema de preocupación mundial ya que este fenómeno resulta de las emisiones de los tipos de gases de invernadero de origen antropogénico. El principal de éstos gases, es el CO₂, el cual se ha incrementado desde 280 ppm que había durante el periodo preindustrial, en la actualidad se estima que existe cerca de 360 ppm (Acosta *et al.*, 2001) y sigue aumentando con un promedio poco superior a 1ppm anual (Deans *et al.*, 1996). En México los principales emisores de gases contaminantes son: el sector de energía, por el uso de combustibles fósiles, con 83.8 MtC, el cambio de uso de suelo y forestería 30.2 MtC y los procesos de la industria del cemento 3.1 MtC (Gay y Martínez, 1995).

Este proceso de liberación de carbono a la atmósfera es factible de revertir al proteger y conservar los ecosistemas arbóreos y arbustivos, así como la aplicación de la reforestación y restauración de ecosistemas degradados (White *et al.*, 2000), este mismo autor menciona que lo anterior permitirá una recaptura de dióxido de carbono de la atmósfera y podrá contribuir de manera significativa a reducir el cambio climático global.

Kaninnen (2000), afirma que la mayoría de los depósitos de C en la vegetación (62%) están localizados en bosques tropicales de baja latitud, mientras que la mayoría del C del suelo (54%) está localizado en los bosques templados de alta latitud. Dicho autor también revisó que en los trópicos, el C que está en depósitos epígeos (superficiales) varía entre 60 y 230 Mg.ha⁻¹C en bosques primarios, y entre 25 y 190 Mg.ha⁻¹C en bosques secundarios, qu²e en

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

bosques tropicales, el C almacenado en el suelo varía entre 60 y 115 Mg.ha⁻¹C y que en los sistemas agrícolas o ganaderos, los depósitos de C en el suelo son menores .

De esta manera los bosques juegan un rol importante no solo como factor de desarrollo de un país y de sus modelos de sostenibilidad, si no que adquieren protagonismo mundial por su reconocimiento como sumideros en los sistemas contables de los ciclos de carbono (Dauber *et al.*, 2003).

Por eso, para que se pueda clarificar la capacidad de carbono capturado por determinada especie, es necesario que sean realizadas determinaciones de biomasa y análisis de captura de carbono existentes. Sin embargo determinaciones de biomasa implican métodos destructivos, lo que impone grandes dificultades operativas y costos elevados. Una alternativa es realizar determinaciones directas en menor escala y emplear modelos de regresión (ecuaciones alométricas), que puedan proporcionar estimaciones bastante razonables, con menores dificultades (Sanquetta *et al.*, 2003).

Si bien en México existen algunos trabajos relacionados con captura de carbono en diferentes ecosistemas, el estado de Nuevo León, casi no cuenta con información suficiente relativa ha este tópico, por lo que se hace necesario en caminar trabajos tendientes a establecer bases metodológicas para la estimación y evaluación del carbono capturado (Olguin, 2001).

1.1. HIPÓTESIS

Los tipos de bosque presentan diferente capacidad de captura de carbono en el Sur de Nuevo León.

1.2. Objetivo general

Determinar el almacenamiento de carbono en bosques forestales del Sur de Nuevo León.

1.3. Objetivos particulares

- Generar ajustes de modelos de biomasa
- Realizar un inventario de carbono almacenado en los bosques forestales del sur de Nuevo León.
- Evaluar el carbono almacenado en los bosques forestales del Sur de Nuevo León.

II. ANTECEDENTES

2.1. El dióxido de carbono en la atmósfera

Las emisiones de GEI (Gases de Invernadero) a la atmósfera debidas a la quema de combustibles fósiles se estimaron en 6,3 Gt/año en la década de los años 90 (1 GtC es igual a 10^9 toneladas de carbono); mientras que las atribuidas a la deforestación de 16,1 millones de hectáreas anuales (FAO 2000) se estimaron en 1,6 GtC/año. Esto suma 7,9 GtC anuales liberadas a la atmósfera. Si continúa el ritmo actual de incremento en las emisiones de GEI, esta cifra se elevaría a aproximadamente 26 GtC anuales para el año 2100 (USDOE, 1999).

Sin embargo, el Informe Especial del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC 2001) estimó que la cantidad neta de C en la atmósfera aumenta 3,3 GtC/año y que la diferencia existente entre el aumento anual total de CO₂ liberado a la atmósfera y el absorbido por la vegetación terrestre y los océanos en aproximadamente partes iguales, alcanza las 4.6 GtC anuales. Para aumentar la cantidad secuestrada por los ecosistemas terrestres se aceptan dos enfoques: (1) protección de los ecosistemas que almacenan carbono de manera que la fijación pueda ser mantenida o incrementada (conservación y manejo de bosques) y (2) la manipulación del ecosistema (plantaciones forestales en sus diversas formas incluyendo enriquecimiento) para aumentar la fijación más allá de las condiciones actuales (USDOE 1999).

2.2. ¿Cómo actúa la vegetación, como sumidero de carbono?

El término "sumidero", según la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se define como cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o remueve un GEI, un aerosol o un precursor de un GEI de la atmósfera (NU 1992). En el caso específico del CO₂ atmosférico, este GEI es absorbido por las plantas y otros organismos fotosintéticos y fijado en la biomasa como resultado del proceso de la fotosíntesis. Aunque una parte es respirada, otra queda retenida en la biomasa y se conoce como carbono fijado, depósito o reservorio de carbono. Por lo tanto, de acuerdo a la CMNUCC se define como Depósito de carbono: todo componente del sistema climático que almacena un gas de efecto invernadero o un precursor de un GEI (NU 1992). En este contexto la permanencia o periodo de tiempo en el que el C está absorbido en la biomasa fuera de la atmósfera es un aspecto crítico y controversial. La permanencia depende de varios factores tales como la respiración, los raleos, los incendios y plagas, el aprovechamiento maderable, la deforestación y el cambio de uso de la tierra, que regulan la pérdida de C acumulado.

Kaninnen (2000) afirma que la mayoría de los depósitos de C en la vegetación (62%) están localizados en bosques tropicales de baja latitud, mientras que la mayoría del C del suelo (54%) está localizado en los bosques templados de alta latitud. En los trópicos, el C está en depósitos superficiales que varía entre 60 y 230 Mg.ha⁻¹C en bosques primarios, y entre 25 y 190 Mg.ha⁻¹C en bosques secundarios (Cuadro 1), que en bosques tropicales, el C almacenado en el suelo varía entre 60 y 115 Mg.ha⁻¹C y que en los sistemas agrícolas o ganaderos, los depósitos de C en el suelo son menores (Cuadro 2).

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Cuadro 1. Depósitos superficiales de carbono en los bosques tropicales.

Tipo de Bosque	Almacenamiento de Carbono (Mg.ha ⁻¹ C)	
	Primario	Secundario
Bosque Nuboso	230	190
Bosque Estacional	140	120
Bosque Seco	60	25

Fuente: Kanninen, 2000 con datos de Brown y Lugo, 1992 y Brown *et al.* 1989.

Cuadro 2. Depósitos de carbono en suelos tropicales.

Uso del Suelo	Almacenamiento de Carbono (Mg.ha ⁻¹ C)
Bosque Tropical	60 - 115
Agricultura (maíz)	
- inicial	35
- después de 50 años	9
Agroforestería (árboles con cultivos)	
- inicial	8.9
- después de 9 años	24.1

Fuente: Kanninen (2000)

Es por eso que la importancia de los ecosistemas vegetales surge de una ecuación básica según la cual: CO₂ + agua + energía solar = azúcares + oxígeno; además de la producción de oxígeno que ha sido siempre lo interesante de la ecuación, hoy se considera aún más importante el hecho que representa la captura y transformación de CO₂. Esta ecuación es el proceso natural denominado fotosíntesis, mediante el cual se fija de forma natural el

carbono y a su vez, mitiga el problema del cambio climático (Salisbury, 1994; Karjalainen, 1996).

2.3. Ecuaciones de biomasa

La biomasa forestal es definida como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectáreas de peso seco o verde . Es frecuente separarla por componentes, donde los más típicos corresponden a la biomasa del fuste , ramas, hojas , corteza, raíces, hojarasca y madera muerta (Schlegel *et al.*, 2002).

El interés con relación al secuestro de carbono en bosques, está dado en virtud de los bosques debido a su elevada capacidad de fijar el dióxido de carbono, en función de la diferencia fotosintética. Estos bosques, sin embargo, presentan una gran variabilidad de términos de capacidad de fijar carbono, pues su productividad depende de las condiciones del medio físico, de manejo, de la especie y el respectivo material genético, entre otros (Sanquetta *et al.*, 2003).

Entonces para poder saber la cantidad de carbono capturado en los bosques es necesario contar con una metodología confiable que cumpla con las exigencias establecidas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático Global, que los proyectos sean económicamente factibles para poder medir la capacidad de almacenamiento de los bosques (Brown y Lugo, 1992)

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Ya que las metodologías actuales utilizadas son destructivas y para tener un rango amplio y con fiable de datos sobre la biomasa para cada especies, se necesitaría el derribo de una gran cantidad de árboles, a demás de ser tardado y costoso (Sanquetta *et al.*, 2003). Sin embargo, se recomienda el menor impacto a los bosques, por lo que una alternativa es realizar determinaciones directas en menor escala y emplear modelos de regresión (ecuaciones alométricas), que puedan proporcionar estimaciones bastante razonables, con menores dificultades.

Husch (2001), por su parte menciona que las ecuaciones usadas para volumen pueden ser utilizadas para estimar biomasa ya que también utilizan las variables diámetros a 1.3 m y la altura total del árbol (h) como variables dependientes.

Dentro de la literatura general han surgido varias ecuaciones de volumen. Por ejemplo Jiménez, (1988), cita el ajuste de 56 ecuaciones de volúmenes para *Pinus pseudostrobus* . sin embargo a pesar de esta amplia variedad de funciones matemáticas aproximadamente 10 son las que más se han utilizando dentro ámbito forestal, de las cuales destacan de la variable combinada de Spurr en forma normal o transformada al logaritmo natural, de Schumacher y Hall, de Naslund, Australiana, Sloboda, entre otras (Contreras, 1997). Las ecuaciones alométricas que se han utilizado en especies forestales de clima templado- frío, para estimar biomasa aérea total y foliar, han utilizado el diámetro a; 1.30 m o del área de la albura (Castellanos *et al.*, 1996). De las ecuaciones que mejor ajuste han presentado para la estimación de biomasa esta la de Berkhout utilizada por Acosta *et al.*, (2002), donde reportan la generacion de ecuaciones alométricas para seis especies forestales en bosque mesófilo de montaña y bosque de encino (*Quercus* spp.) en Oaxaca, México. Todas las

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

ecuaciones fueron de la forma $Y = bX^k$, donde Y es la biomasa aérea (kg), X es el diámetro (cm) a 1.3 m, b y k son los parámetros a estimar. En todos los casos el coeficiente de determinación (R^2) fue superior a 0.97. Compararon también los parámetros de las ecuaciones alométricas generadas y encontraron que estos fueron diferentes para cada especie. Sin embargo, a estas especies las separaron en dos subgrupos de tres especies cada uno, y se ajustó una ecuación alométrica adecuado y suficiente para cada subgrupo los coeficientes de determinación para los modelos ajustados en cada subgrupo fue de 0.99 y 0.98.

Saquetta *et al.*, (2003), en un trabajo realizado en Parana Brasil propusieron 7 modelos de ajustes de biomasa: $PV = aD^b$, $PV = a+bD+cD^2$, $PV = a+bD+c(D^2+H)$, $PV = a+bD+cD^2+d(D^2H)$, $PV = a+bD^2+c(D^2H)$, $PV = a+bD+cH$, $PV = aD^bH^c$. su objetivo se caracterizó en la relación a ecuaciones alométricas entre variables tomadas de *Pinus taeda*, una de las principales especies reforestadas en Brasil. Donde los datos provenientes de en febrero de 2001 de 18 individuos con edades de 17 a 21 años fueron apeados y secados, tomándose las siguientes variables: D (dap), H (altura total), Peso Verde del Fuste (PVF), Peso Verde del Follaje Vivo (PVFv), Peso Verde de Ramas Vivas (PVRv), Peso Verde de Ramas Muertas (PVRm) y Peso Verde de Raíces (PVR). Los pesos verdes (PV) lo determinaron en campo con una balanza con capacidad para 300 kg. Los datos los emplearon para ajustar los siguientes modelos: (1) $PV = aD^b$; (2) $PV = a+b+cD^2$; (3) $PV = a+bD+c(D^2H)$; (4) $PV = a+b+cD^2+d(D^2H)$; (5) $PV = a+bD^2+c(D^2H)$; (6) $PV = a+bD+cH$; y (7) $PV = aD^bH^c$. Los modelos se ajustaron para todas las variables de peso previamente mencionadas. El modelo (7) fue el que mejor ajuste presentó ($R^2 = 0.97$) para PVF, a pesar de haber sido constatada una escasa relación entre los modelos (3), (4) y

(5). Para PVFv, los mejores modelos fueron el (1) y el (7) ($R^2 > 0.83$ y 0.84). Para PVRv, los modelos (1) y (7) también se destacaron de los demás ($R^2 = 0.76$ en ambos). En PVRm, los modelos (3) y (4) presentaron mejores ajustes ($R^2 = 0.870$ y 0.88), con ligeras diferencias con relación a los modelos (2) y (5) ($R^2 = 0.86$ y 0.85). En el caso de PVR, los ajustes fueron peores, siendo los mejores modelos el (3) y (4) ($R^2 = 0.67$ y 0.68), con ligeras diferencias con respecto de los demás, excepto para el modelo (6) que fue mucho peor ($R^2 = 0.56$). Ellos concluyen que las relaciones entre las variables de fácil medición y de biomasa del fuste son muy sólidas, pudiendo ser espresadas de forma satisfactoria por los modelos que ellos ajustaron y que tanto para ramas y raíces la situación fue distinta, pues las relaciones fueron modestas. Para el follaje y ramas muertas ocurrió una situación intermedia.

2.4. Estimación de carbono basado en inventarios

Con frecuencia es necesario usar los resultados de un inventario tradicional para contribuir a una estimación de la cantidad de carbono en un bosque. Obviamente, la información tiene el propósito de estimar la cantidad de madera, es insuficiente para hacer una estimación total del carbono en un ecosistema forestal. Inventarios de este tipo normalmente expresan al volumen en los troncos principales con valor comercial, ignorando el volumen de los otros componentes de los árboles y otras fuentes de carbono en el ecosistema. En consecuencia, es preciso ajustar la información de un inventario tradicional para incluir la biomasa y carbono de estos componentes. Desde luego, sería posible hacer estudios especiales para estimar directamente estas cantidades. Ya que estudios de este tipo son muy

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

caros generalmente se hacen aproximaciones utilizando factores de expansión (Husch, 2001).

Dauber *et al.*, (2003), estimaron los valores de biomasa a aérea total de todos los árboles, de bosques naturales en cuatro ecoregiones bolivianas: Amazonía, Preandino amazónico, Transición chiquitano amazónica y Chiquitanía. Se utilizaron datos de 600 mil árboles obtenidos de 74 inventarios forestales (Brown *et al.*, 1989).

Husch, (2001), menciona que para convertir los volúmenes de un inventario en estimaciones de carbono se pueden utilizar los siguientes procedimientos:

- Convertir volúmenes verdes de un inventario a la biomasa en peso seco.
- Estimar el peso del carbono en la biomasa.
- Estimar la biomasa y la cantidad de carbono por hectárea y la superficie total.
- Usar un factor de expansión para incluir otros componentes.

En el presente trabajo se pretende utilizar los tres primeros puntos para cumplir los objetivos planteados en este estudio.

III. METODOLOGÍA

3.1. Descripción de área de estudio

3.1.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se localiza el Ejido Corona del Rosal municipio de Galeana en la región sureste del estado de Nuevo León, México, ocupando una superficie de 6,646.42 ha. Geográficamente se localiza entre los $24^{\circ}27'23''$ y los $24^{\circ}32'51''$ de latitud norte y entre los $99^{\circ}53'54''$ y los $100^{\circ}01'34''$ de longitud oeste (figura 1).

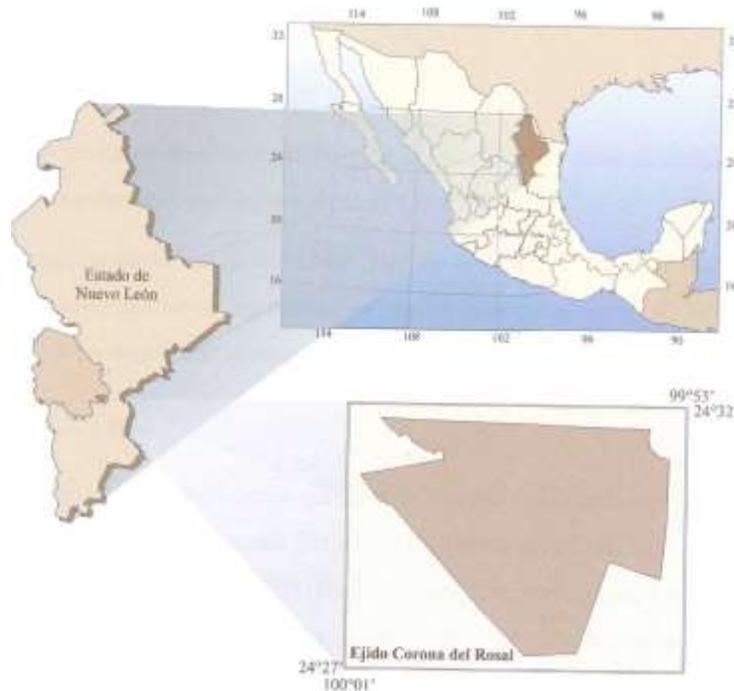


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

3.1.2. Clima

La estación meteorológica No.19-015 ubicada en el municipio de Galeana, Nuevo León, siendo la más próxima a este ejido, reporta que la temperatura media anual es de 17.9 grados centígrados. En los meses más fríos la temperatura mínima puede alcanzar 3 grados bajo cero, y en los más cálidos las temperaturas ascienden hasta 28 grados centígrados. Con una precipitación media anual de 430.3 mm. El clima se define como climas secos, del tipo semiseco, subtipo semiseco templado con verano ($BS_1(x')$).

3.1.3. Suelos

Según el INEGI (2004), en el área se encuentran predominando suelos feozem calcáricos y litosoles de textura media, con rocas de origen sedimentarias, ocupados principalmente por bosques de coníferas y latifoliadas (pino y encino).

3.1.4. Fisiografía y orografía

El área de estudio se encuentra dentro de la región fisiográfica de la Sierra madre Oriental y en la subprovincia Gran Sierra Plegada. Con pendientes que varían desde 5% hasta 60 %. La altitud promedio del área de estudio es de 2000 m.s.n.m.

3.1.5. Vegetación

En general los diferentes tipos de bosque abarcan 8.94 % del estado de Nuevo León, las especies más comunes en el área de trabajo son: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y *Quercus* spp. (INEGI, 2004).

3.2. Descripción y distribución geográfica de las especies

3.2.1. *Pinus teocote*

Nombre común: “Pino Rosillo”, “Chino”. Se desarrolla entre los 1500 y 3000 m.s.n.m., de los 15°00’ y 29’ de latitud Norte y 91°30’ a 108°00’ de longitud Oeste, distribuido desde Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Oeste de Guatemala, encontrándose en varios tipos de suelos y un amplio rango de precipitación

Es un árbol de tamaño medio, de 8 a 25 m de altura, en árboles maduros las ramas son horizontales a ligeramente inclinadas formando una copa densa y redondeada. En árboles jóvenes es delgada y parecida a la de *Pinus leiophylla*. Las ramas son lisas cuando joven y pronto empiezan a hacerse ásperas, la base de las hojas o brácteas son decurrentes. Hojas en fascículos de tres, raramente de cuatro, de 8 a 15 cm, muy raramente más largas, con más de 1 mm de ancho, los márgenes finales son aserrados, con estomas en la parte superficial

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

dorsal, ventral y canales resiníferos de 2 a 5, raramente más, las paredes externas del endospermo con células engrosadas; fibrovasculares envueltas en pares con vainas persistentes, café obscuro de 4-10 mm de largo. Conillos individuales en grupos 2,3 o 4, ocasionalmente de 2,5-4 cm, Conos café pálidos conos, ovoides de 4-7 cm de largo, ocasionalmente de 2,5-4 cm, maduran en invierno y son deciduos, el pedúnculo generalmente caedizo en conos pequeños, semillas muy pequeñas de 4 mm de largo, áspera café, con ala articulada de 10-15 mm. Madera fuerte, dura, resinosa, amarillo pálido y corazón ligeramente obscuro, usada para construcciones en general y localmente para postes y leña. Se distribuye en la porción norte, en Durango y Nuevo León se desarrolla en tipos de árboles con buena forma, usualmente en sitios bien drenados. En las partes altas ocurren heladas y nevadas durante el invierno y en bajas altitudes en áreas secas o sitios rocosos, esta especie sobrevive a muy altas temperaturas. Sobre este amplio rango el *Pinus teocote* crece en rodales muy abiertos en asociación con muchas especies de pinos incluyendo *P. montezumae*, *P. leiophylla*, *P. rudis*, *P. chihuahuana*, *P. cembroides*, *P. engelmannii*, *P. oocarpa*, *P. patula* y *P. lawson* (Perry, 1991).

3.2.2. *Pinus pseudostrobus*

Esta especie se distribuye en una franja a todo lo largo de la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León (Vega, 1995). Es un árbol de 20 a 40 m de altura y copa muy densa. Las hojas tienen coloración verde intenso y ocurren en grupos de 5, raramente 4 ó 6 tienen de 18 a 33 cm de largo. El cono es de forma ovalada o cónica, de color café claro, de 7 a 12 cm de largo y de 5 a 11 de ancho. La corteza permanece liza mucho tiempo, haciéndose rugosa conforme avanza de edad. *Pinus pseudostrobus* es una especie con fisonomía muy

variable (Stead y Styles, 1984). La madera de este pino es rosada e castaño claro sin diferencias de color entre la albura y el duramen. Se emplea para la elaboración de durmientes de ferrocarril, productos aserrados, chapa, pilotes para mina, cajas de empaque, postes, muebles y artesanías (De la Paz y Olvera, 1981).

3.2.3. *Quercus* spp.

Los árboles del genero *Quercus*, al cual pertenecen los encinos, es característico de las zonas montañosas del país, principalmente de clima templado, aunque existen algunos representantes localizados en zonas tropicales de menor altitud. Se distribuyen en todos los estados de la republica mexicana a excepción de Quintana Roo, y Yucatán, se encuentran desde el nivel del mar hasta los 2800 m.s.n.m. Constituye un elemento dominante de la vegetación de la Sierra Madre Oriental, pero también soy muy comunes en la Occidental (Rzedowski, 1986).

Árboles o arbustos de 10 hasta 30 m: yemas terminales; estipuladas asociadas a las yemas subuladas o linguadas, prontamente caediza o algunas veces persistentes; hojas alternas peciolada; flores masculinas en amentos alargados frágiles; cáliz con cinco lóbulos fusionados en un perianto en forma de cúpula, incluyendo cinco a diez estambres libres con anteras cortas y delgadas filamentosas; flores femeninas en un amento reducido con raquis leñoso duro que puede ser corto o largo, con una o varias flores; cáliz de seis lóbulos adheridos a la base de los estilos y fusionados dentro de un tubo; pistilo de tres carpelos en un simple ovario trilocular; cada lóculo contiene dos óvulos y tres estilos libres, los cusles están marcados ventralmente cerca del ápice dilatado, fruto unilocular, una semilla, y los

cinco óvulos restantes abortados y adheridos a la semilla desarrollada; semilla envuelta en una cáscara formando una bellota o nuez. Las especies de este género son aproximadamente de 1000 (Valdez, 1983).

En área de estudio se pueden encontrar, árboles de 15 a 20 metros de altura dominando las especies: encino de asta (*Quercus rhysophylla*), encino roble (*Q. polymorpha*), encino memelito (*Q. laceyi*) y duraznillo (*Q. canbyi*) (Alanís *et al.*, 1995).

3.3. Materiales y métodos

Las especies principalmente estudiadas son: *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus*, y *Quercus* spp, características del bosques de pino-encino, encino-pino y pino en el sur de Nuevo León, estas especies están distribuidas en: Coahuila, Tamaulipas, centro y sur de la República Mexicana (Alanís *et al.*, 1995).

3.3.1. Ajustes de ecuaciones

Para la selección de los árboles derribados no se utilizó un diseño de muestreo determinado ya que los árboles muestras se obtuvieron de aquellos que están siendo aprovechados para aserrio, esto según el programa de manejo vigente para esta región.

Se derribaron 8 a 16 árboles de *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y *Quercus* spp, esto con la finalidad de tener una mejor representatividad de las especies en cuestión.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Antes del derribo a los árboles seleccionados se les midió su diámetro a la altura del pecho, altura fuste limpio a la primera rama viva, longitud de copa, diámetro de copa N-S y E-O, después del derribo, cada árbol se separó por componentes, hojas con ramas finas menores de 1cm de diámetro, ramas, y fuste, posteriormente redeterminó el peso húmedo de hojas y ramas para el caso del fuste se seccionó en partes con un peso mayor de 100 kg correspondiente a la capacidad máxima de la pesola y para obtener el peso húmedo total del mismo.

De los componente ramas y hojas se extrajeron tres submuestras, con respectó al fuste se extrajeron rodajas de 4 a 8 según el diámetro de cada árbol, a cada submuestra se le determinar el peso húmedo las cuales se secaron en el laboratorio a una temperatura de 105 grados centígrados hasta tener un peso seco constante.

Los datos obtenidos se utilizaron para calcular la relación peso seco peso húmedo(Ps/ph) promedio perteneciente a cada componente. Se multiplicó el peso húmedo total de cada componente (ramas, hojas) por su relación correspondiente para establecer su peso seco total. La relación de cada rodaja se utilizó para obtener el peso seco de cada sección del fuste del árbol a partir de su peso fresco respectivo a cada sección. La suma del peso seco de cada componente constituyo la biomasa total del árbol. Los datos fueron organizados para realizar los ajuste de ecuaciones.

De acuerdo con Husch (2001), para hacer estimaciones de biomasa se pueden usar los mismos modelos de crecimiento y los generados para calcular volumen. En el presente estudio se utilizaron sólo algunos (Cuadro 3) de los 75 descritos por Kiviste (1988) y otros

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

propuestos por Prodan *et al.*, (1997) y De los Rios,(2003) ya que estos son los que han probado ser los mejores.

Se proponen 16 modelos para la estimación de biomasa a partir del diámetro de copa (DC) y el diámetro a 1.3 y tres modelos que utilizan diámetro normal y altura (h) como variables independientes. Todos los modelos utilizaron peso seco total del árbol (PST) como variable dependiente.

Los criterios de decisión para seleccionar el modelo que mejor cálida de ajuste, fueron el coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar porcentual ($Sx\%$).

Cuadro 3. Modelos de ajustes de biomasa

Modelo	Expresión matemática
Berkour	$y=a(D^b)$
Bertalanffy	$y = a(1 - E^{b-cD})^d$
Chapman-Richards	$y=a(1-E^{-bD})^c$
Gompertz	$y = aE^{-b^{-cD}}$
Hossfeldl	$y=f^c/(b+D^c/a)$
Korf	$y = aE^{-bD^{-c}}$
Logarítmica	$y = a+b(\log(D))$
Logística	$y=a/(-1+ce^{-bd})$
Michailoff	$y = a(E^{bD(c)})+1.3$
Petterson	$y = 1.3+(D/a+b^{bDc}d)$
Polinomio 2° grado	$y = a+b(D+c(d^2))$
Prodan	$y = 1.3+(D/a+b(D+c(D^2)))$
Schumacher	$y = aE^{dD^c}$
Van laar	$y = E^{(a+b/D+c/D^2)}$
Yoshida	$y=at^d/(b+d^d)+$
Ecuación de Freese	$y = E^{(a+b(\ln(D))+c(\ln(d^2)))}$
Compresible	$y=a+b(D)+c(D(H))+d(D^2)+e(H)+f((D^2)(H))$
De la variable combinada generalizada	$y=a+b(D^2)+c(H)+d((D^2)(H))$
Meyer modificada	$y= a+b(d)+c((D)(H))+d((D^2)(H))$

Donde:

y = biomasa

D = diámetro a 1.3 m o diámetro de copa

H = altura

a, b, c, d, e, f = parámetros de estimación

3.3.2. Inventario de carbono

3.3.2.1. Diseño de muestreo

El diseño de muestreo que se implementó fue completamente al azar en cada parcela de muestreo se dividió en estratos, estrato alto árboles dominantes y codominantes, estrato medio arbustos y especies con tallos leñosos y estrato bajo conformado por herbáceas, necromasa y hojarasca.

Para la ubicación de los sitios de muestreo se utilizaron cartas topográficas correspondientes al área, en estas también se delimitó la superficie por tipo de bosque y con la ayuda de una maya de puntos se calculó el área en hectáreas para cada tipo de bosque.

3.3.2.2. Parcelas de inventario de carbono

Para este trabajo se utilizaron parcelas de muestreo circulares de diámetro 11,28 m con una superficie de 400 m² (figura 2) similares a las descritas por Schlegel, *et al.*, (2000).

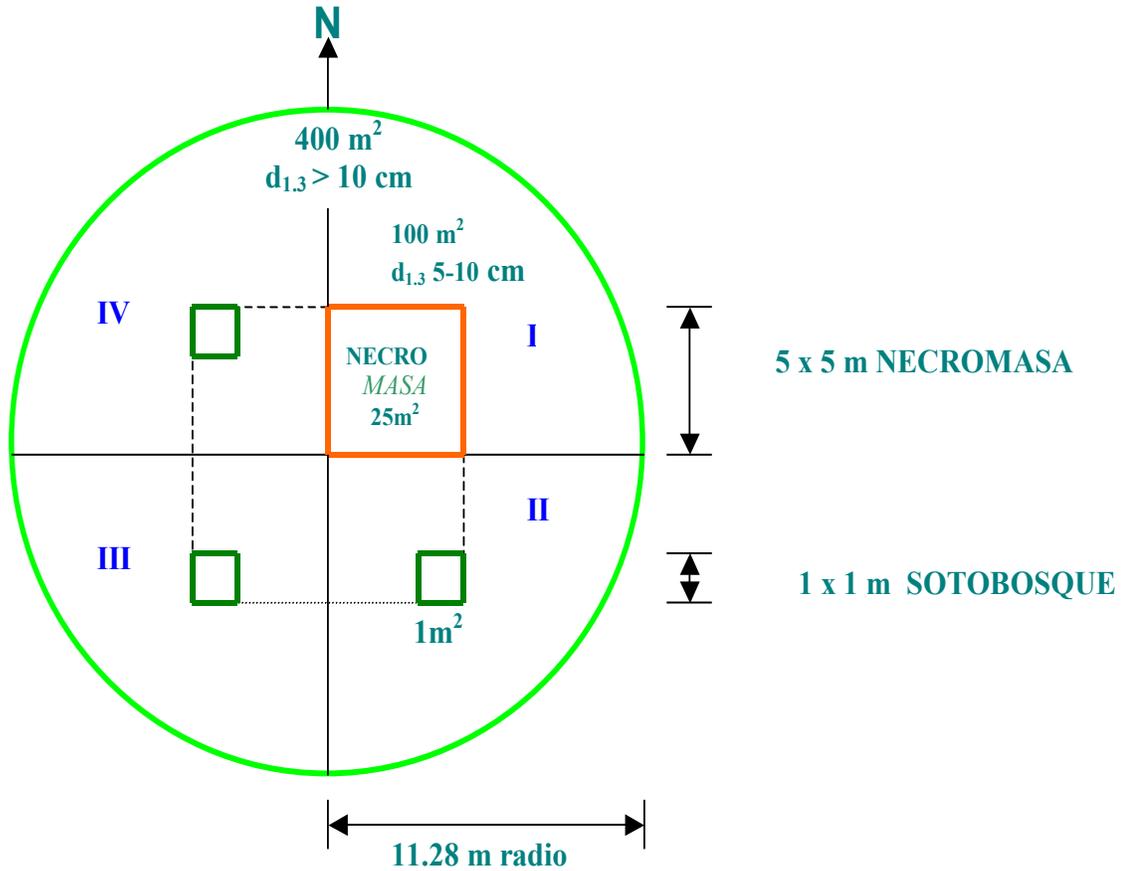


Figura 2. Parcelas de muestreo de 400 m² para el inventario de árboles.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Las actividades se iniciaron con la instalación de las parcelas de muestreo de 400 m², estas se instalaron utilizando cintas a 11,28 m de radio desde el centro de cada parcela a los cuatro puntos cardinales. Se corrigió la distancia con la ayuda de un clinómetro cuando la pendiente era mayor al 10%.

Se levantó la información correspondiente de los árboles: diámetro a 1.3 m, altura total, longitud de copa (Lc), diámetro de copa (N-S y E-O), comenzando por el radio norte de la parcela y midiendo la totalidad de árboles del primer cuadrante. La medición de los árboles con diámetros mayores de 10 centímetros de diámetro normal se hizo en los cuadrantes II, III y IV.

En el ejido Corona del Rosal se determinó el área en hectáreas perteneciendo al bosque de pino una superficie de: 1557.76 ha, el de pino-encino 475.60 ha y el de encino-pino con 1004 ha. Para poder estimar la biomasa por hectárea. Se determinó que lo adecuado sería realizar un muestreo al azar con un error de muestreo del 5%, de acuerdo a un muestreo preliminar con sitios circulares de 400 m² se calculó el número de sitios de muestreo más adecuado por tipo de ecosistema forestal, implementando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t^2 * CV\%^2}{Sx\%^2}$$

t = Valor de la tabla de *t* de Student

n = Números de sitios muestrear

CV= Coeficiente de variación

Sx%= Error estándar porcentual

3.3.3. Evaluación del carbono capturado

3.3.3.1. Biomasa sobre el suelo

Se calculó la biomasa contenida en dos depósitos diferentes:

A) Biomasa arbórea >5 cm diámetro a 1.3 m

B) Biomasa de leñosos <5 cm diámetro a 1.3 m, necromasa y hojarasca

3.3.3.2. Biomasa arbórea >5 cm diámetro a 1.3 m

La biomasa se estimó con el modelo que mejor ajuste presentó con respecto al peso seco para cada especie y con los datos obtenidos del inventario de árboles en las parcelas de 400 m². Una vez que se obtuvo la biomasa en toneladas, se multiplicó por el carbono ponderado por especie, obtenidos en el análisis hecho en el laboratorio mediante el equipo Solids TOC Analyzer, los valores de Carbono se expresaron en Mg.ha⁻¹B y Mg.ha⁻¹C

3.3.3.3. Biomasa de tallos leñosos <5 cm diámetro normal, necromasa y hojarasca

Para el cálculo de la biomasa en este depósito se obtuvo el peso total húmedo (PTB) en cada subparcela de 1 m², ubicadas en los cuadrantes II, III y IV, de las parcelas de muestreo, en cuyas subparecelas no se encontraron tallos leñosos, solo hojarasca. Para la medición de la necromasa se instaló una subparcela de 25 m² en el cuadrante I donde se pesó toda la necromasa (tallos leñosos ramas en descomposición) y se determinó su peso fresco. Se obtuvieron submuestras de estos de los componentes en peso verde y se llevaron al laboratorio donde se secaron en una estufa a 105 grados centígrados y hasta tener un peso seco constante. El contenido de humedad (CH) y la biomasa seca se total (B) se calculó de la siguiente manera:

$$CH = ((P_{hs} - P_{ss}) / P_{ss}) * 100$$

Donde

CH = contenido de humedad (%)

P_{hs} = Peso húmedo de la submuestra (g)

P_{ss} = peso seco de la submuestra (g)

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Con el contenido de humedad se calculó la proporción de peso húmedo que corresponde a la biomasa y obteniendo así el peso seco total de la biomasa de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$B = \text{PTB} / (1 + (\text{CH} / 100))$$

Donde:

B = biomasa seca total (g)

PTB = peso húmedo total de biomasa (g)

CH = contenido de humedad (%)

Los valores se dividieron entre 1,000,000 para obtener los resultados en toneladas y después se multiplicaron por la proporción ponderada de cada componente. Los valores de carbono se extrapolaron y se expresaron en $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{C}$.

3.3. 4. Análisis de datos

El resultado de datos estimados en carbono se ordenaron debidamente para realizar un análisis de varianza y prueba de Tukey para determinar si existen diferencias entre especie y tipo de bosque.

IV. RESULTADOS

4.1. Ajuste de modelos para biomasa

Los árboles derribados para las tres especies los diámetros a 1.3 para *Pinus pseudostrabus* varió de 5 a 42.4 cm y para *Quercus* de 5 a 40.6 cm, para *Pinus teocote* de 5,5 a 40.4 cm. El valor menor de biomasa fue de 2,147 kg y el más alto de 818.276 kg para *Quercus spp.*, para *Pinus pseudostrabus*, de 2.176 como mínimo y 499.776 kg máximo, en *Pinus teocote* los valores variaron desde 2.9 a 543 kg (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de peso seco obtenidos por especie.

<i>Pinus pseudostrabus</i>			<i>Quercus sp.p</i>			<i>Pinus teocote</i>		
d 1.3 m	h m	PST	d 1.3 m	h m	PST	d 1.3 m	h m	PST
5	4.9	2.613	5	5	3.104	5.5	5	2.9
8.8	5.9	9.945	7.4	3.7	9.786	9.8	6.5	11
17.3	9.4	50.837	11.8	6.6	32.151	16.3	10	53
21.3	12.7	137.648	12	5.8	40.682	20.3	13	138
23.1	11.8	167.688	16.2	6.4	46.490	23.1	13	184
32	17.7	401.365	17.3	8.7	103.706	30.5	16	431
36	15.5	613.543	21.5	8.6	164.596	34.6	16	626
42.4	14.3	516.786	21.8	15.8	275.905	40.4	15	543
			24.1	7.9	163.260			
			24.4	10.7	330.648			
			29.2	14	487.112			
			31.9	10.1	237.565			
			36.3	9.7	603.665			
			36.6	8.7	498.259			
			39.5	13.3	856.029			
			40.6	11.9	821.695			

4.1.1. Ajuste de modelos para *Pinus pseudostrabus*

De los 16 modelos propuestos para la estimación de biomasa a partir del diámetro de copa en *Pinus pseudostrabus* se ajustaron 6, los que mayor coeficiente de determinación presentaron fueron el de Michailoff y Polinomio de segundo grado con 0.96, para ambos, mientras que el valor más bajo fue de 0.82 para Gompertz. En lo que concierne a los errores estándares el más altos fueron de 25.16 para Gompertz y 23.39 para Peeterson (Cuadro 5, Figura 3).

Cuadro 5. Valores de $Sx\%$, R^2 y parámetros de estimación correspondientes a cada modelo ajustado para *Pinus pseudostrabus* utilizando diámetro de copa.

Modelo	a	b	c	Sx%	R²
Berkour	3.006	2.462		19.78	0.95
Gompertz	0.914	-3.167	-0.388	25.16	0.82
Michailoff	3784.084	-15.975		16.80	0.96
Petterson	0.248	-1.266		23.39	0.93
Polinomio 2° grado	-34.748	-9.082	9.603	18.33	0.96
Prodan	0.038	-0.001	-21.845	20.47	0.95

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

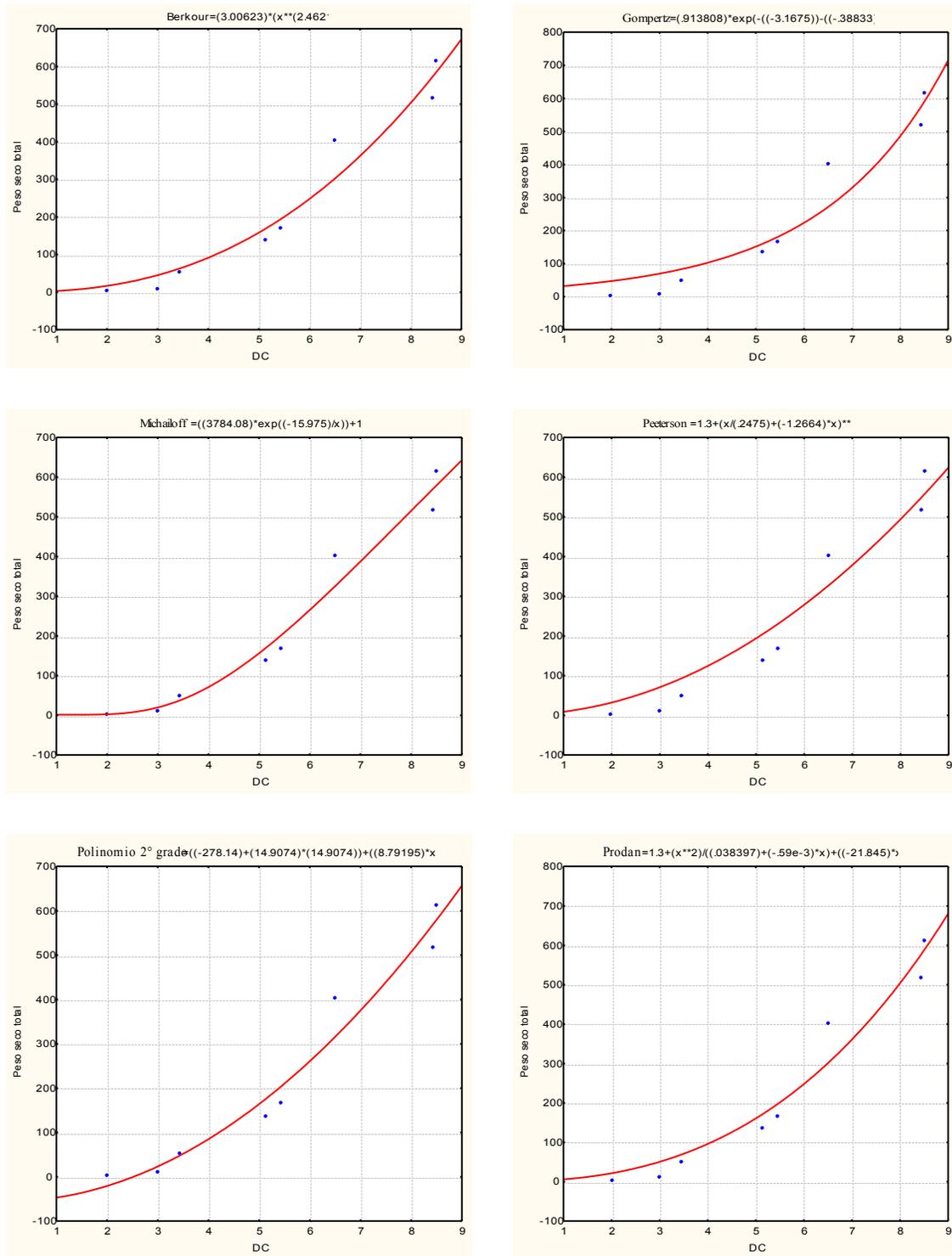


Figura 3. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en diámetro de copa para *Pinus Pseudostrobus*.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

En el cuadro 6 (figura 4), se observa que el modelo Michailoff tiene una $R^2 = 0.92$ siendo el valor máximo, mientras el mínimo corresponde a Berkour, Peeterson y Gompertz de 0.87, los datos de error estándar porcentual variaron de 25.51 a 39.48.

Cuadro 6. Valores de Sx%, R^2 y parámetros de estimación correspondientes a cada modelo ajustado para *Pinus pseudostrobus* utilizando diámetro a 1.3 m.

Modelo	a	b	c	Sx%	R²
Berkour	0.537	1.882		31.03	0.89
Gompertz	1.253	-3.564	-0.063	39.48	0.89
Michailoff	2354.144	-57.453		25.51	0.92
Petterson	0.062	-15.627		31.29	0.89
Polinomio 2° grado	-66.433	5.943	0.241	30.31	0.90
Prodan	0.773	0.002	-0.833	30.47	0.90

Las funciones que se ajustaron con diámetro normal y h son: la Compresible, De la Variable Combinada Generalizada y Meyer modificada, las cuales presentaron una R^2 entre 0.87 y 0.89, el Sx% oscilo entre 30.31 y 33.27 (Cuadro 7, Figura 5).

Cuadro 7. Modelos de biomasa para *Pinus pseudostrobus* utilizando diámetro normal y h.

Modelo	a0	a1	a2	a3	a4	a5	Sx%	R²
Compresible	-66.433	5.943	0.100	0.241	0.100	0.100	30.31	0.89
De la variable combinada generalizada	-10.941	0.361	0.100	0.100			31.11	0.89
Meyer modificada	-163.150	17.244	0.100	0.100			33.27	0.87

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

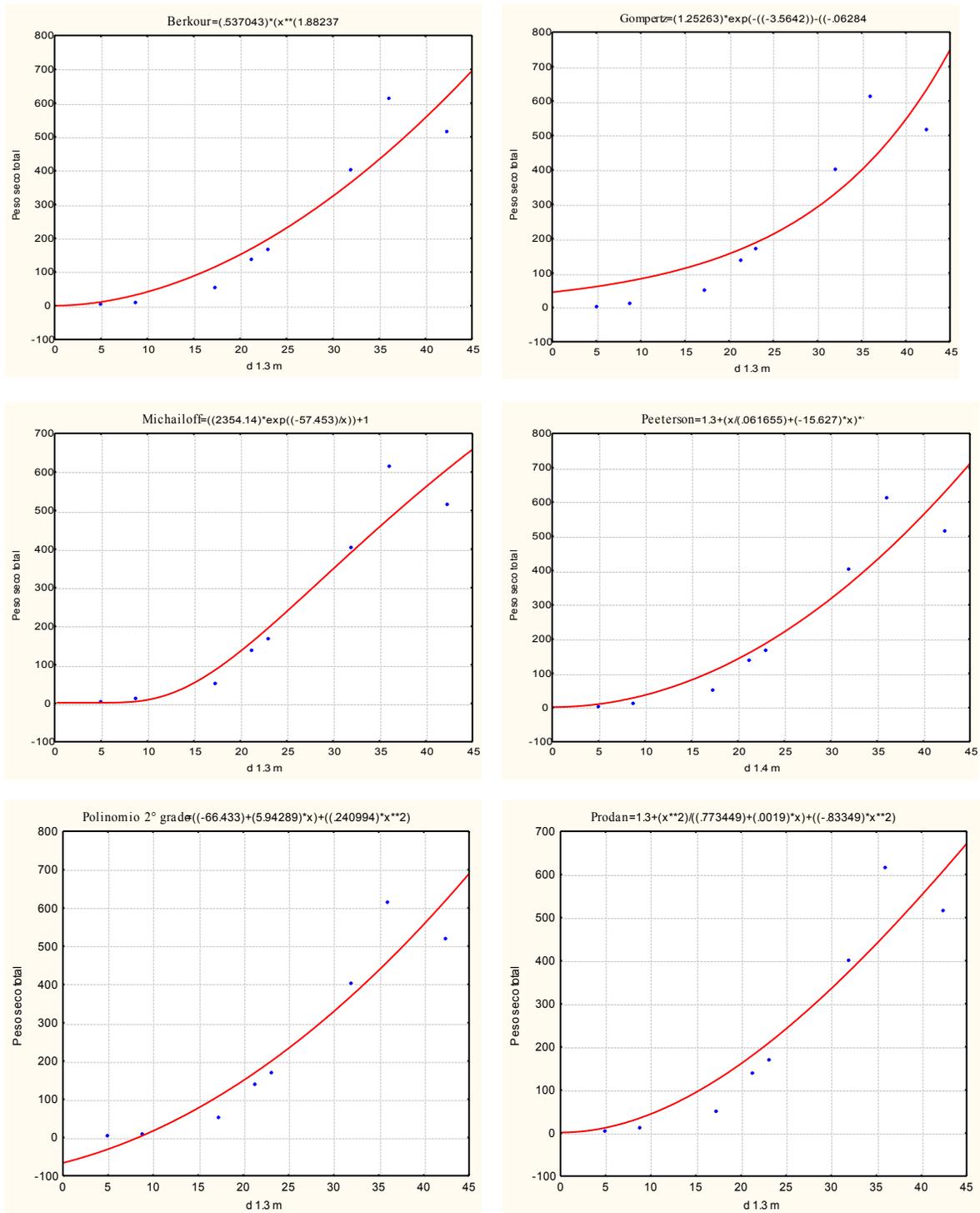


Figura 4. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en diámetro de diámetro normal *Pinus Pseudostrobus*.

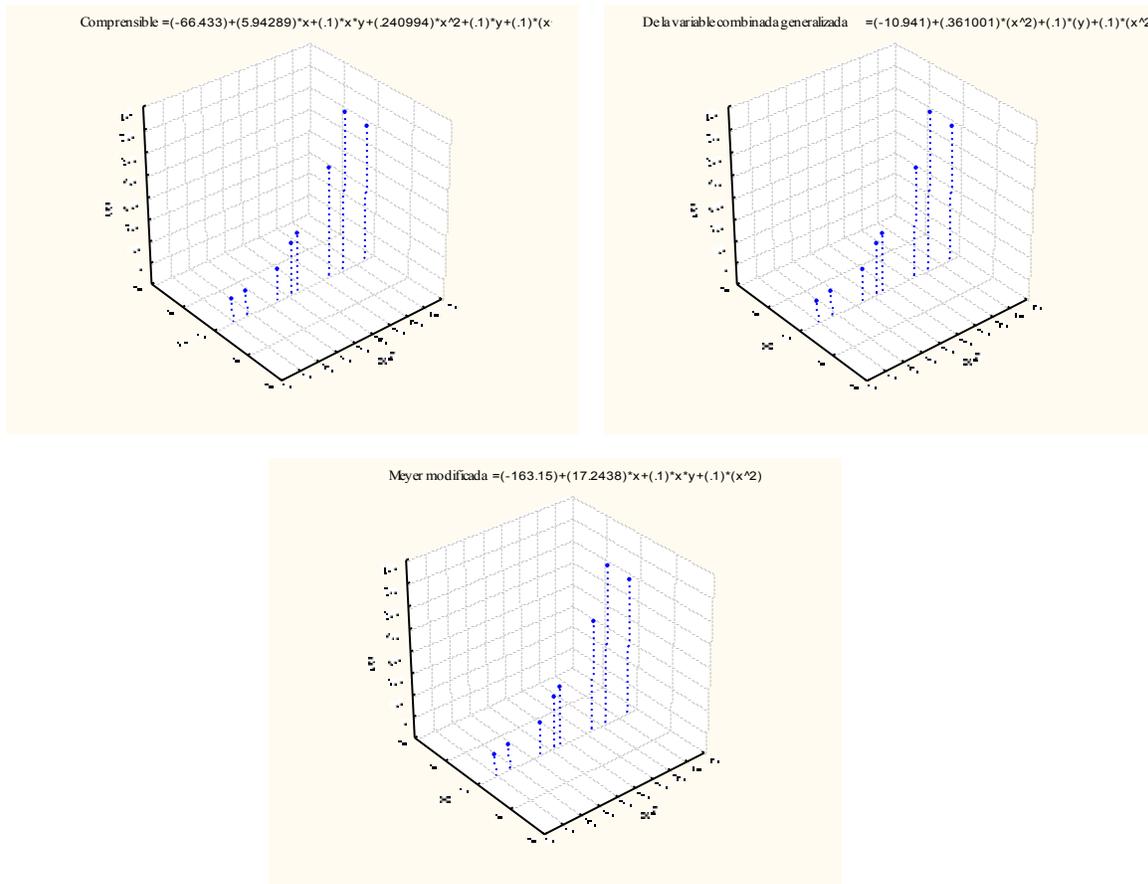


Figura 5. Dispersión de datos y tendencia según los modelos ajustados en diámetro normal y h para *Pinus Pseudostrobus*.

4.1.2. Ajuste de modelos para *Quercus* spp.

Las expresiones matemáticas ajustadas para biomasa en *Quercus* spp. con respecto al diámetro de copa y el diámetro a 1.3 m como variables independientes y el peso seco, variable dependiente fueron: Berkour, Gompertz, Michailoff, Peeterson, Polinomio de segundo grado y Prodan (cuadros 8 y 9, Figuras 6 y 7).

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Todos los modelos mencionados presentaron modesto coeficiente de determinación para el caso de estimación de biomasa a partir del DC, siendo el valor más alto de 0.74 y el más bajo de 0.70 comparado los valores de estos mismos modelos ajustados a estas condiciones en *Pinus psuedostrobus* y *Pinus teocote* (cuadros 5 y 10) los datos son más alto y por lo tanto se puede decir que las variables tanto dependientes como independientes tienen mayor grado de asociación para estas dos especies y para *Quercus* spp.. esta relación es regular.

Cuadro 8. Modelos de biomasa para *Quercus* spp.. utilizando diámetro de copa

Modelo	a	b	c	Sx%	R²
Berkour	3.214	2.507		49.02	0.72
Gompertz	1.820	-2.683	-0.386	51.35	0.70
Michailoff	4757.898	-16.664		47.52	0.74
Petterson	0.160	-3.260		50.28	0.71
Polinomio 2° grado	34.287	-43.249	14.151	48.59	0.73
Prodan	16.755	-1.403	8.693	50.25	0.71

Para el ajuste con diámetro a 1.3 m el modelo que mejor relación presentó conforme a la variable dependiente y la independiente fue Prodan con una $R^2=0.91$ y un $Sx\% = 26.97$.

Cuadro 9. Modelos de biomasa para *Quercus* spp. utilizando diámetro a 1.3 m.

Modelo	a	b	c	Sx%	R²
Berkour	0.092	2.448		28.62	0.90
Gompertz	1.494	-2.894	-0.085	28.45	0.90
Michailoff	4371.395	-70.972		30.90	0.89
Petterson	0.251	0.251		30.59	0.89
Polinomio 2° grado	31.876	-7.113	0.634	28.91	0.90
Prodan	65.325	-1.466	0.351	26.97	0.91

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

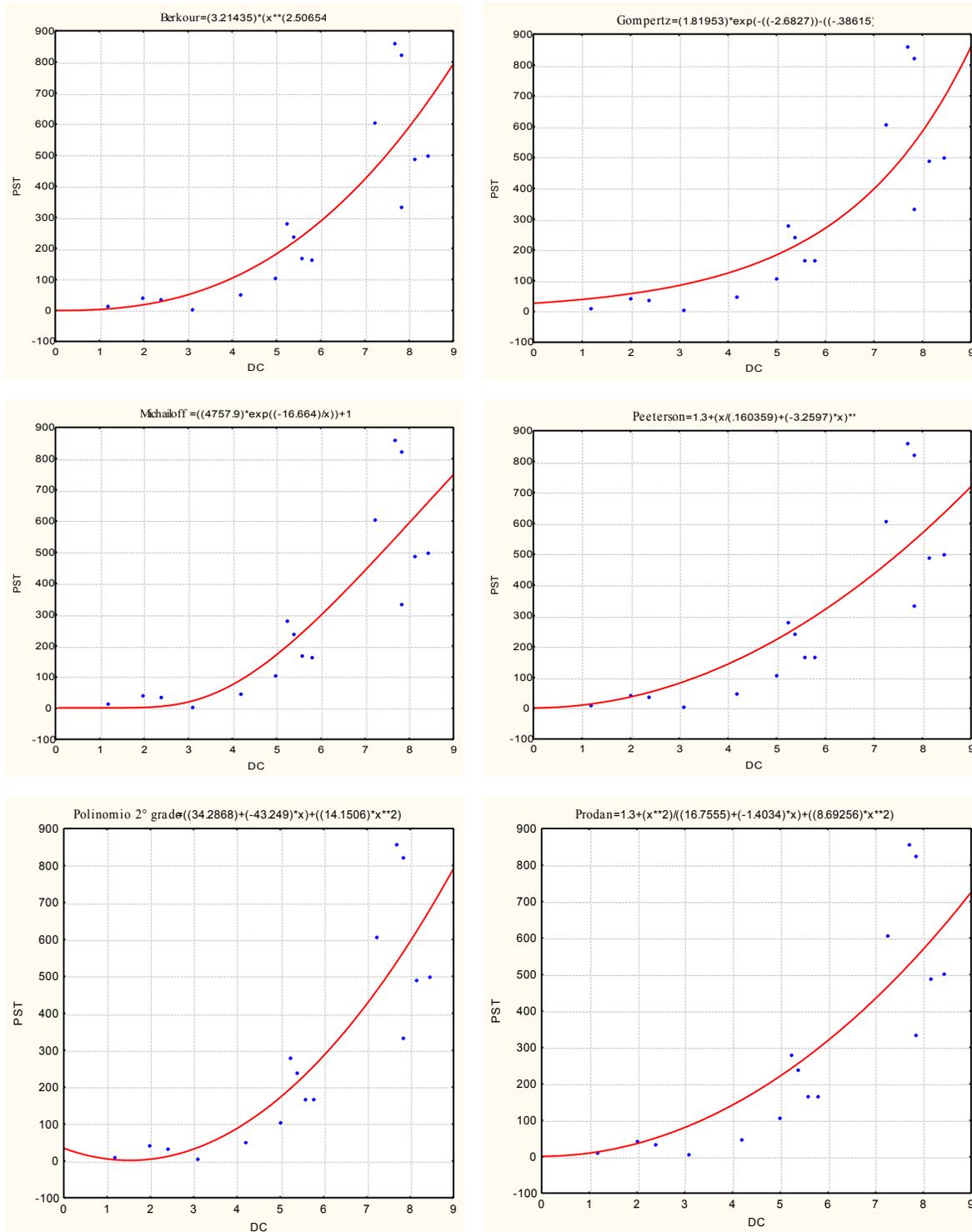


Figura 6. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en DC para *Quercus* spp.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

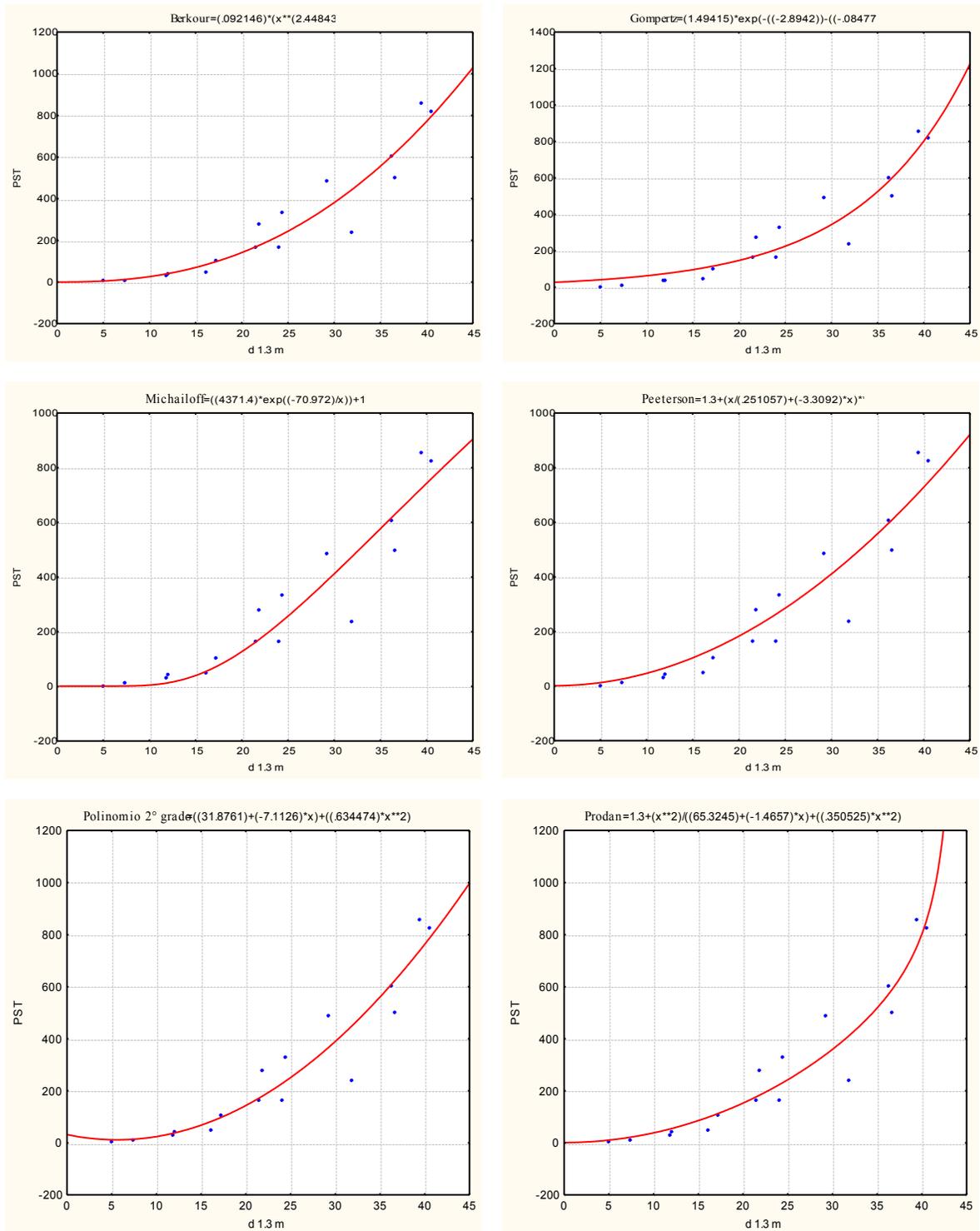


Figura 7. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en diámetro a 1.3 m para *Quercus* spp.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

El modelo que mejor ajuste expresó fue el Comprensible con un coeficiente de determinación de 0.95 y un error estándar porcentual de 20.23, el de la Variable Combinada Generalizada y Meyer Modificada mostraron una R^2 de 0.94, 0.90 y un $Sx\%$ de 22.82, 28.64 respectivamente (cuadro 10, Figura 8).

Cuadro 10. Modelos de biomasa para *Quercus* spp.. utilizando diámetro a 1.3 m y h

Modelo	a0	a1	a2	a3	a4	a5	Sx%	R ²
Comprensible	-33.620	0.674	-10.664	0.498	146.792	0.176	20.23	0.95
De la variable combinada generalizada	-30.796	0.525	-15.244	0.005			22.82	0.94
Meyer modificada	-229.762	23.299	-2.023	0.053			28.64	0.90

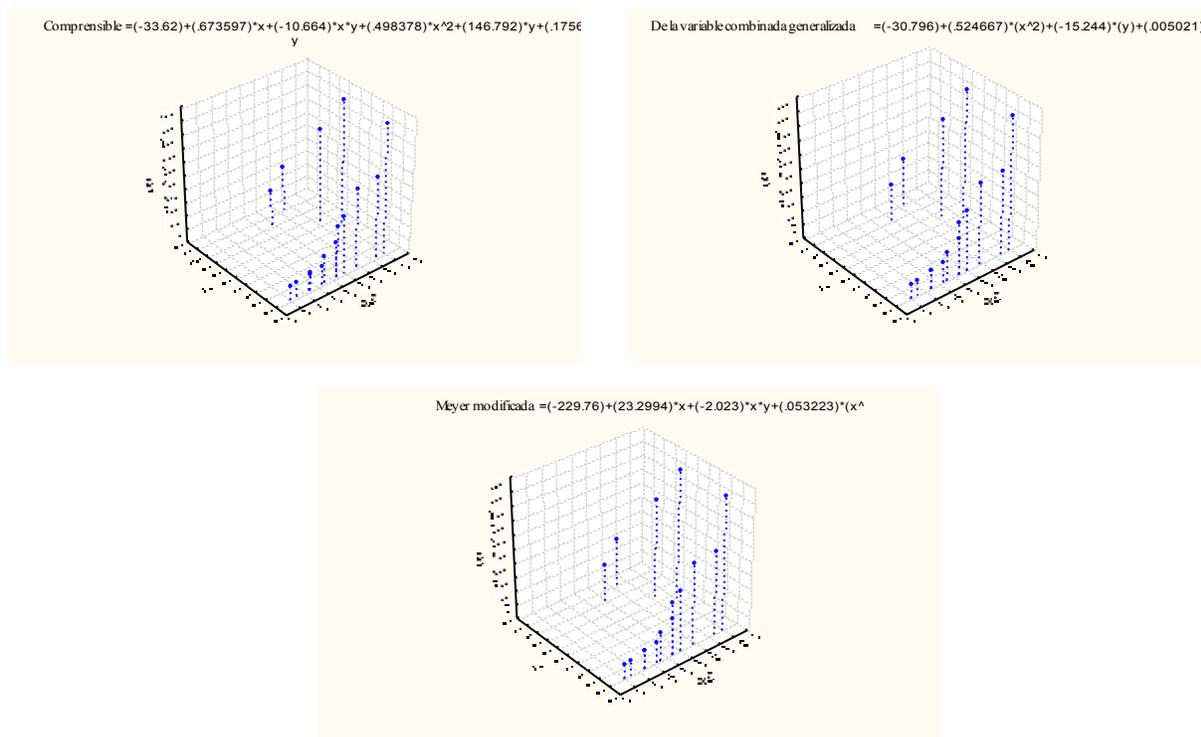


Figura 8. Dispersión de datos y tendencia según los modelos ajustados en diámetro a 1.3 m y h para *Quercus* spp.

4.1.3. Ajuste de modelos para *Pinus teocote*

Para *Pinus teocote* se ajustaron los mismos modelos presentados en las especies anteriores para biomasa; a continuación se presentan los cuadros con el número de parámetros, el error estándar porcentual y el coeficiente de determinación para cada modelo ajustado considerando que dichas funciones se basan en el diámetro a 1.3 m y DC como variables independientes (Cuadros 11 y 12, figuras 9 y 10).

Cuadro 11. Modelos de biomasa para *Pinus teocote* utilizando diámetro de copa.

Modelo	a	b	c	Sx%	R²
Berkour	3.609	2.345		18.91	0.94
Gompertz	1.148	-3.092	-0.358	27.37	0.91
Michailoff	3440.814	-15.548		19.18	0.95
Peeterson	0.192	-2.496		24.04	0.93
Polinomio 2° grado	-103.083	20.384	6.613	20.01	0.95
Prodan	0.083	-0.002	-6.916	22.59	0.93

Cuadro 12. Modelos de biomasa para *Pinus teocote* utilizando diámetro 1.3 m.

Modelo	a	b	c	Sx%	R²
Berkour	0.508	1.933		29.28	0.90
Gompertz	1.831	-3.172	-0.067	37.74	0.83
Michailoff	2543.055	-56.209		23.56	0.93
Peeterson	0.426	-1.715		29.40	0.90
Polinomio 2° grado	-81.807	6.914	0.274	28.17	0.90
Prodan	0.776	0.002	-0.797	28.92	0.90

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

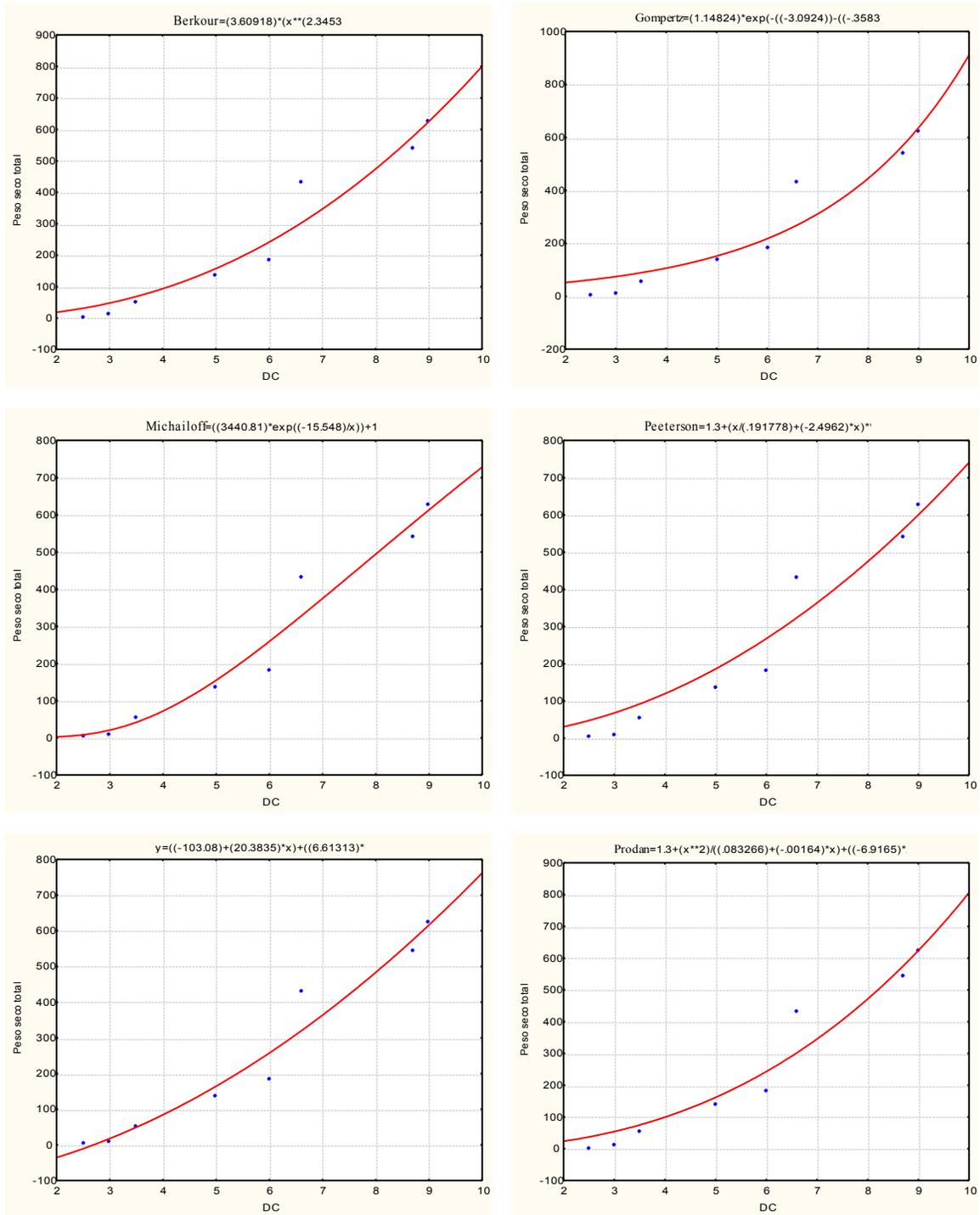


Figura 9. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en DC para *Pinus teocote*.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

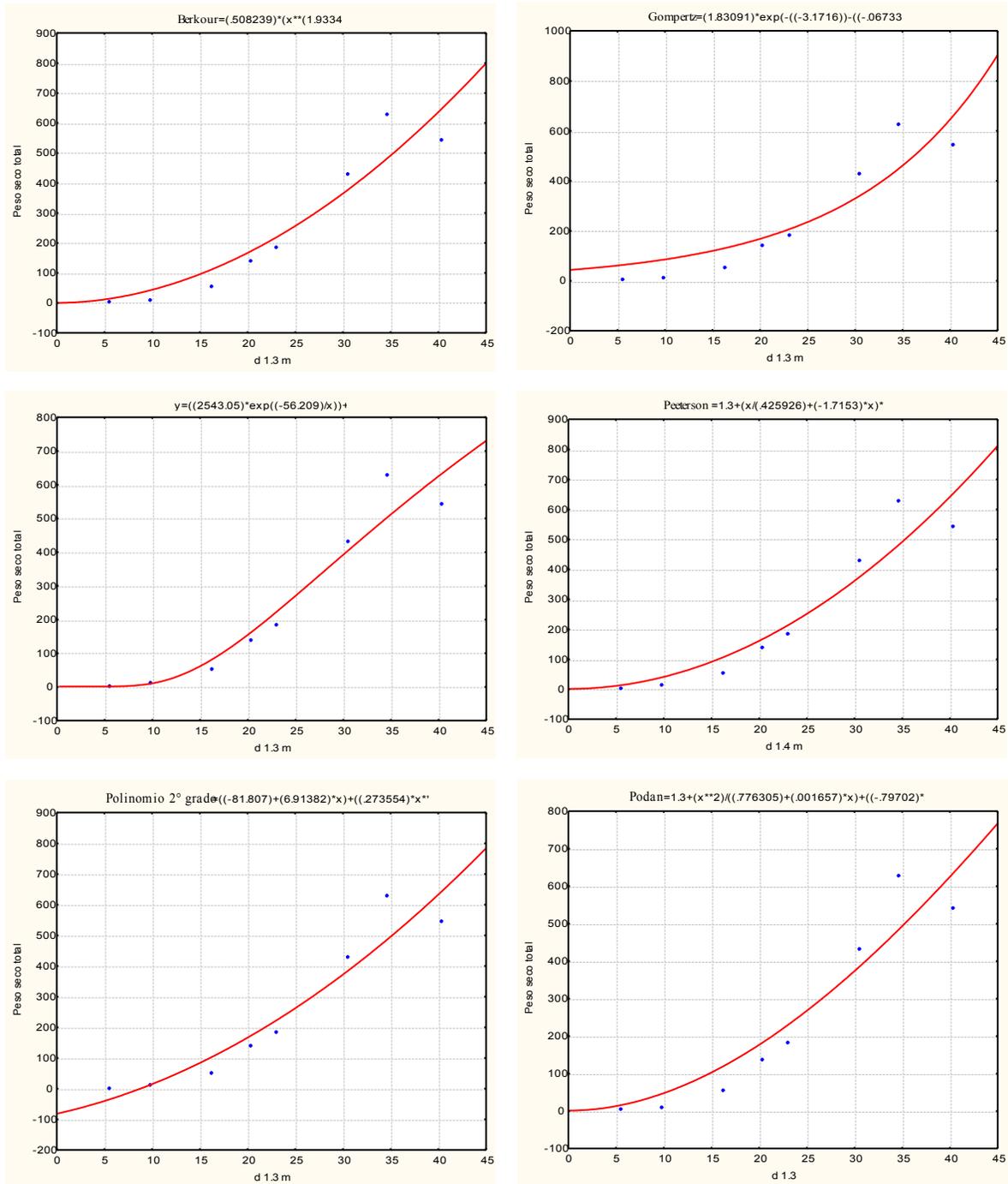


Figura 10. Dispersión de datos y tendencia de la curva según los modelos ajustados en diámetro a 1.3 m para *Pinus teocote*.

Los modelos ajustados para *Pinus teocote* entendiendo como variables independientes diámetro 1.3 m y h demostraron un coeficiente de determinación mayor a 0.89 y un error estándar porcentual por de bajo de 31.0 (Cuadro13, figura 11).

Cuadro 13. Modelos de biomasa para *Pinus teocote* utilizando diámetro a 1.3 m y h.

Modelo	a0	a1	a2	a3	a4	a5	Sx%	R ²
Comprensible	-81.807	6.914	0.100	0.274	0.100	0.100	28.17	0.90
De la variable combinada generalizada	-17.551	0.418	0.100	0.100			29.00	0.90
Meyer modificada	-189.738	19.423	0.100	0.100			30.93	0.89

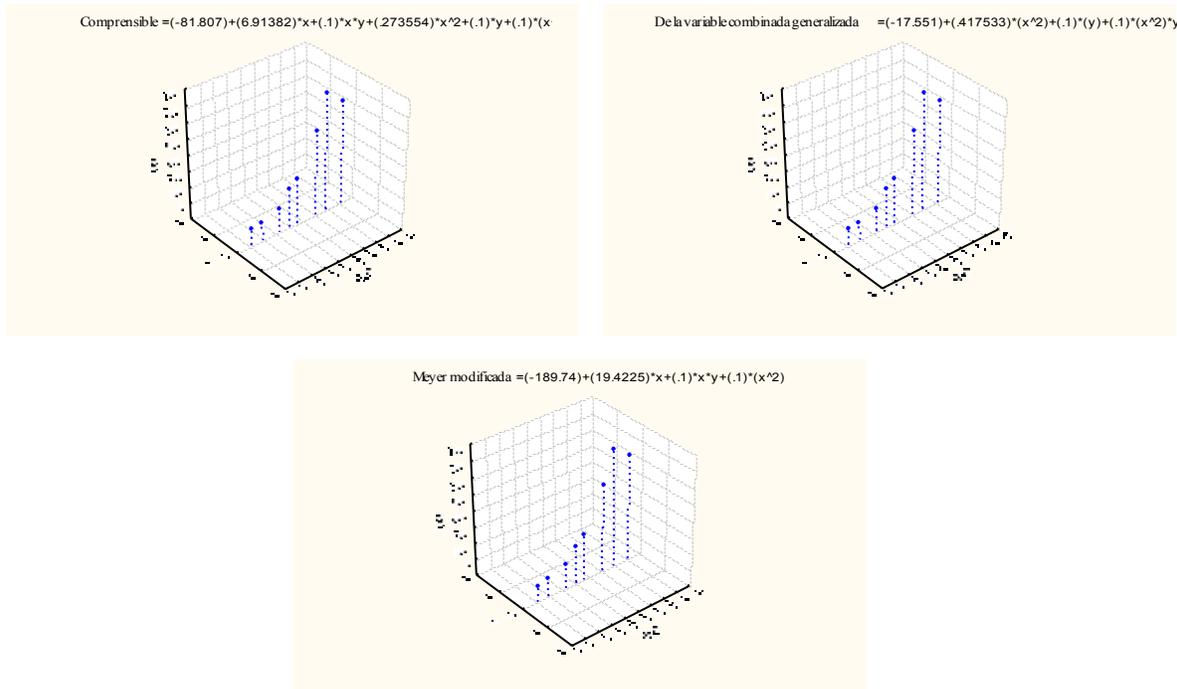


Figura 11. Dispersión de datos y tendencia según los modelos ajustados en diámetro a 1.3 y h para *Pinus teocote*.

4.2. Inventario y evaluación de carbono

4.2.1. Inventario de carbono en árboles

El número de sitios de muestreo por tipo de ecosistema forestal fueron: 24 sitios para el bosque de pino-encino, 23 para el bosque encino-pino y 24 para el bosque de pino. El modelo que se utilizó para la estimación de la biomasa con los datos de inventario fue el de Michailoff, en este se observa una curva de mejor tendencia central en la dispersión de los datos, además que su origen empieza de cero. Los valores se expandieron a toneladas por hectárea, se multiplicaron por el carbón promedio ponderado de cada especie (cuadros 11, 12 y 13), obtenidos por el programa “Solids TOC Analyzer”. El contenido de carbono para *Pinus pseudoatrobis* fue de 49.7 %, para *Pinus teocote* 50.2 %, mientras que para *Quercus* spp. de 48.6 %, esto difiere relativamente con los valores de carbono descritos por Koch (1989), donde menciona que para especies de coníferas es de 52.1 % y para especies arbóreas en latifoliadas de 53.1 %, cabe mencionar que estos datos son obtenidos a nivel especies mientras que Koch menciona promedios generales.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Cuadro 14. Datos de especie, número de individuos, toneladas de biomasa y carbono por hectárea para el bosque de pino.

Spp	Bosque pino	
	Ind/ha	13
<i>P. teocote</i>	Mg.ha ⁻¹ B	5.548
	Mg.ha ⁻¹ C	2.903
	Ind/ha	370
<i>P. pseudostrobus</i>	Mg.ha ⁻¹ B	119.785
	Mg.ha ⁻¹ C	59.449
Total	Mg.ha ⁻¹ C	62.352

Cuadro 15. Datos de especie, número de individuos, toneladas de biomasa y carbono por hectárea para el bosque de encino-pino.

Spp	Bosque encino-pino	
	Ind/ha	54
<i>P. teocote</i>	Mg.ha ⁻¹ B	13.348
	Mg.ha ⁻¹ C	7.011
	Ind/ha	341
<i>Quercus</i> spp.	Mg.ha ⁻¹ B	99.245
	Mg.ha ⁻¹ C	48.263
Total	Mg.ha ⁻¹ C	55.274

Cuadro 16. Datos de especie, número de individuos, toneladas de biomasa y carbono por hectárea para el bosque de pino-encino.

Spp	Bosque pino-encino	
<i>Quercus</i> spp.	Ind/ha	56
	Mg.ha ⁻¹ B	7.782
	Mg.ha ⁻¹ C	3.785
<i>P. pseudostrobus</i>	Ind/ha	41
	Mg.ha ⁻¹ B	9.793
	Mg.ha ⁻¹ C	6.49
<i>P. teocote</i>	Ind/ha	178
	Mg.ha ⁻¹ B	79.113
	Mg.ha ⁻¹ C	41.406
Total	Mg.ha ⁻¹ C	51.68

Ind/ha = Números de árboles por hectáreas

Mg.ha⁻¹B = Mega gramos de biomasa por hectárea

Mg.ha⁻¹C = Mega gramos de carbono por hectárea

4.2.2. Evaluación e inventario de carbono en la necromasa y hojarasca

Los resultados de contenido de carbono, presentaron una variación entre 47.1 % y 54.9 % en la necromasa y en la hojarasca de 50.9 % a 51.3 % (cuadro 14).

Cuadro 17. Valores de porcentaje de carbono, biomasa, carbono capturado encontrados en necromasa y hojarasca por tipo de bosque

Bosque	Bosque pino-encino		Bosque encino-pino		Bosque pino	
	Necr	Hojra	Necr	Hojra	Necr	Hojra
Componente						
Carbono	51.3%	55.2%	47.1%	51.9%	54.9%	50.9%
Mg.ha ⁻¹ B	0.558	4.337	1.827	1.781	1.784	1.203
Mg.ha ⁻¹ C	0.286	2.394	0.861	0.924	0.980	0.612

Necr = necromasa, Hojra = hojarasca

4.3. Análisis estadístico

4.3.1. Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para las especies dentro de los tipos bosque

Todas las especies presentaron diferencias significativas en contenido de carbono con un 95 % de seguridad dentro de cada tipo de bosque. Mediante el análisis de prueba de medias de Tukey al 0.05 se evaluó el contenido de carbono en las diferentes especies por tipo de vegetación, se observó que para el bosque de pino-encino *Pinus pseudostrobus* con una media de 4.95 Mg.ha⁻¹C es diferente de la media de *Pinus teocote* con un valor de 1.14 Mg.ha⁻¹C, para el bosque de pino-encino la media 3.45 Mg.ha⁻¹C, para *Pinus teocote* fue significativamente diferente de la media de *Pinus pseudostrobus* con valor de 0.535 Mg.ha⁻¹C y *Quercus* spp. con 0.540 Mg.ha⁻¹C las cuales no presentaron diferencias, mientras que para el bosque de encino-pino, *Quercus* spp. presenta una media de 4.02 Mg.ha⁻¹C desigual con respecto a la media de *Pinus teocote* con 1.00 Mg.ha⁻¹C (anexos 22, 23 y 24).

4.3.2. Análisis de varianza entre tipos de bosque, necromasa y hojarasca

Se puede asegurar que con un 95 % de seguridad de que no hay diferencias significativas en contenido de carbono entre los tipos de bosques, mientras que para la hojarasca y la necromasa si demostraron diferencias significativas observado con su análisis de varianza correspondiente (anexos 25 y 26).

V. CONCLUSIONES

En general de los 19 modelos propuestos, solo 9 se ajustaron para estimación de biomasa con una gran variación de coeficiente de correlación de 0.70 a 0.96, mientras que el Sx % osciló entre 16.80 y 50.80

Los modelos Berkour, Gompertz, Michailoff, Peeterson, Polinomio 2° grado y Prodan, demostraron que existe una buena relación entre el DC y el peso seco total para las especies en cuestión.

Para la estimación de biomasa se utilizó el modelo de Michailoff, que muestra una mejor bondad de ajuste a los puntos, además la curva tiene su origen en cero y la pendiente incrementa sin declinar.

El contenido de carbono para *Pinus pseudostrobus* fue de 49.7 %, para *Pinus teocote* 50.2 %, mientras que para *Quercus* spp. de 48.6 %

La biomasa para el bosque de pino fue de 125.32 Mg.ha⁻¹B, para el bosque de encino-pino de 112.58 Mg.ha⁻¹B y para el bosque de pino-encino de 96.68 Mg.ha⁻¹B, el contenido de carbono observado fue de, 62.35 ,55.27 y 51.68 Mg.ha⁻¹C para los tres tipos de bosques respectivamente.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Para la hojarasca el contenido de carbono fue mayor para el bosque de pino-encino con un valor de 2.394 Mg.ha⁻¹C y el menor valor lo presentó el bosque de pino con 0.612. Mg.ha⁻¹C Con respecto a la necromasa el valor máximo fue de 0.980 para el bosque de pino y 0.286 Mg.ha⁻¹C el mínimo para pino-encino.

Para cuestiones prácticas se pueden utilizar modelos que utilicen diámetro a 1.3 m como variable independientes, por ser más práctico levantar datos de diámetro en un inventario, sin embargo para cuestiones de investigación se deben utilizar ecuaciones que utilicen variables independientes, como el diámetro a 1.3 m y h, para hacer una estimación más confiable de biomasa y por ende de carbono.

Todas las especies presentaron diferencias significativas dentro de los tres tipos de bosque en el Sur de Nuevo Leon.

Los tipos de bosques no presentaron diferencias en el contenido de carbono, mientras que la necromasa y la hojarasca si presentaron diferencias significativas dentro de los tipos de bosques.

VI. LITERATURA CITADA

Acosta, M; Quednow, K; Etchevers, J, y Monreal, C. 2002. Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas de vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. 18 al 20 de Octubre del 2001. Valdivia – Chile,

Alanis, F.J., A; González, A.M; Guzmán, L. M.A. y Cano, C. G.1995. Flora representativa de Chipinque árboles y arbustos primera parte. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México. P 32-34

Brown, S., A.J.R. Gillespie and A.E. Lugo. 1989. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. Forest Science 35(4):881-902

Brown, S. y A. Lugo. 1992 .Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. Revista Interciencia No. 17.

Dauber, E; Teran, J, y Guzmán R. 20003. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. Revista Forestal Iberoamericana Vol. 1 No. 1 p. 1-10

Deans, J.; Mora, J.: and Grace, J. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduos tropical moist forest in Cameeroon. For, Eol. Manag. 88: 215-225

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

De la Paz, P.O.,y Olvera, C.C. 1981. Anatomía de la madera de 16 Especies de coníferas. Bol. Tec. Inst. Nal. de Invest. For. Mexico, No. 69 p 89-94

De lo Ríos, C. E. 2003. Evaluación de captura de carbono en plantaciones del genero Pinus en el noredeste de México. Tesis de Maestria. Facultad de Ciencias Forestales UANL. P 13 – 65

FAO. 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. *Land and water bulletin* 8, FAO, Rome. 204 p.

Gay, C. y J. Martínez. 1995. Mitigacion de Emisiones y Graduación de Gases en México. *Interciencia* 20(6):336-342

Husch, B. 2001. Estimación del contenido de carbono de los bosques. Simposio internacional medicion y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. 18 al 20 de Octubre del 2001. Valdivia, Chile.

INEGI. Edición. 2004. Anuario Estadístico Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática. Gobierno del Estado de Nuevo León. 594 p.

Jiménez, P. J. 1988. Ausstellung von schaftholz-massentefeln und tarifen fur *Pinus pseudostrobus* lindl. Und *Pinus teocote* schl. Et cham in einem teil der Sierra Madre Oriental im nordosten Mekikos. Goerg-Augst-Universitat Gottingen. P 39-71

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Kanninen, M. 2000. Secuestro de carbono en bosques: el papel de los bosques en el ciclo global de carbono. II Conferencia Electrónica Agroforestería Para La Producción Animal En América Latina (FAO-CIPAV)

Karjalainen, T. 1996: Dynamics and potentials of carbon sequestration in managed stands and wood products under changing climatic conditions. *Forest Ecology and Management* 80: 113-132

Koch, P. 1989. Estimates by Species Group and Region in the USA. of: I. Below Ground Root Weight a Percentage of Oven dry Complete Tree Weight; and II Carbon Content of Tree Portions, Unpublished Consulting Report. 23 p.

NU (Naciones Unidas). 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. 50 p.

Olguín, M. 2001. Incorporación de la captura de carbono como propuesta de manejo forestal integral: estudio de caso en una comunidad de la meseta purépecha, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, México

Perry, J. P. Jr., 1991. *The Pines of Mexico and central America*, Timber Press, Inc., Portland Oregon., p 104-106

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) 2001.

Prodan, M., R, Peters., F. Cox y P. Real.1997. Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. San José, Costa Rica. 561 p.

Rzedowski, J.1986. Vegetación de México. Tercera edición. Editorial Limusa. México D.F. 430 p.

Sanquetta, R.C., Farinha, W.L. y Arce. E.D. 2003. Ecuaciones de aérea y subterránea de *Pinus tadea* en el sur del estado de Paraná, Brasil. Patagonia Forestal. P: 1-9

Schlegel, B; Gayaso, J. y Guerra J. 2000. Manual de procedimientos de muestreo de biomasa forestal. Medición de capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. P. 1-24

Stead, J. W. B. y Styles, B.T. 1984.Studies of central Aamerican Pines, a revision of the “pseudostrobus” group (pinaceae). Bot. J. of The Linnean Soc.,. P 249-275.

USDOE (U.S. Department of Energy). 1999. Carbon Sequestration: Research and Development. Office of Science/Office of Fossil Energy. Report on the DOE Workshop on Research and Development Priorities for Carbon Sequestration held on September 14–15, 1999. Gaithersburg, Maryland.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Vega, G. G. M. 1995. Elaboración de una guía de densidad para *Pinus pseudostrbus* Lindl. En el estado de Nuevo León. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales U.N.L. Linares Nuevo León, México.

Valdes, T. V. y Aguilar, E. M. L. 1983. el genero *Quercus* en las unidades fisonomico-florísticas del municipio de Santiago, N.L., México. Bol. Tec. Inst. Nal. de Invest. for. México D.F. No.. 98. P 18- 30

White, A.; Cannel, M.; Friend, A. 2000. CO₂ stabilization, climate change and terrestrial carbon sink. *Global Change Biology* 6: 817-833

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Anexo 1. Tabla de No. individuos, toneladas de biomasa y carbono por hectárea en cada categoría diamétrica para el bosque de encino-pino.

Spp.	CD	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Ind/ha	-	5	4	16	8	7	-	-	8	1	5	0
<i>P. teocote</i>	Mg.ha ⁻¹ B	-	0.046	0.313	2.331	1.958	2.321	-	-	-	1.033	5.392	0
	Mg.ha ⁻¹ C	-	0.024	0.164	1.220	1.025	1.215	-	-	-	0.540	2.822	0
	Ind/ha	4	56	39	79	44	46	25	16	22	4	4	2
<i>Quercus spp</i>	Mg.ha ⁻¹ B	0.006	0.414	1.803	9.819	12.047	19.493	13.879	10.066	19.109	4.562	5.173	2.874
	Mg.ha ⁻¹ C	0.003	0.201	0.877	4.775	5.859	9.479	6.749	4.895	9.293	2.218	2.516	1.398

Anexo 2. Tabla de No. individuos, toneladas de biomasa y carbono por hectárea en cada categoría diamétrica para el bosque de pino.

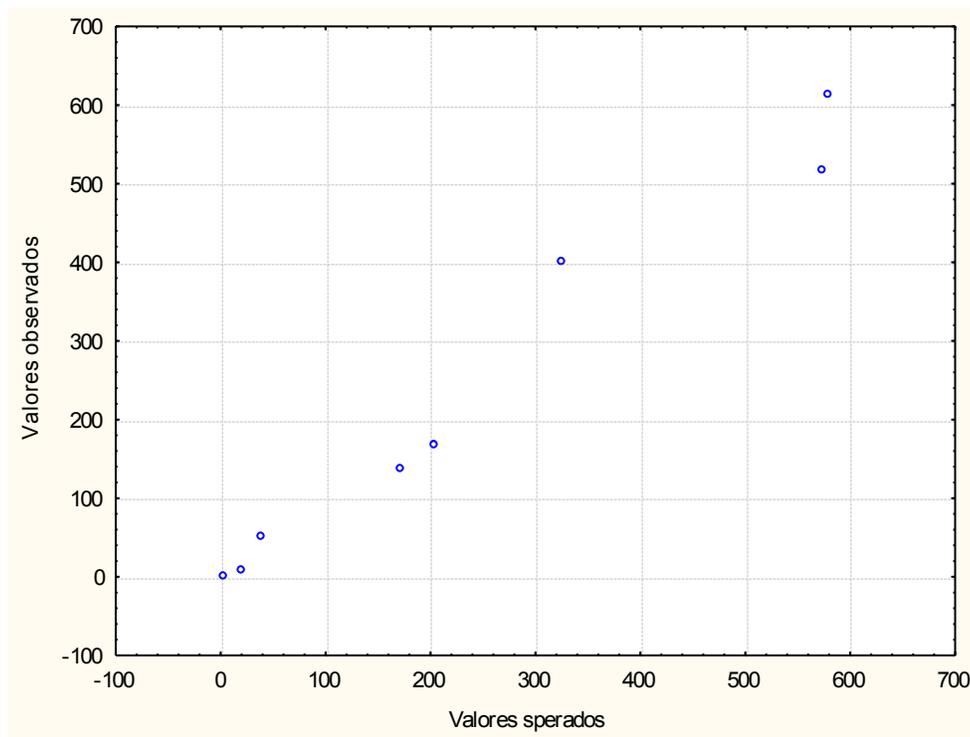
Spp.	CD	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Ind/ha	-	-	2	5	2	-	-	-	1	-	-	3
<i>P. teocote</i>	Mg.ha ⁻¹ B	-	-	0.157	0.639	0.641	-	-	-	0.812	-	-	3.299
	Mg.ha ⁻¹ C	-	-	0.082	0.334	0.335	-	-	-	0.425	-	-	1.727
	Ind/ha	1	30	42	43	69	57	60	30	11	17	8	2
<i>P.pseudostrobus</i>	Mg.ha ⁻¹ B	0.002	0.319	2.125	5.953	16.927	24.852	26.989	15.934	7.334	12.705	5.639	1.008
	Mg.ha ⁻¹ C	0.001	0.158	1.055	2.954	8.401	12.334	13.395	7.908	3.640	6.305	2.799	0.500

Anexo 3. Tabla de No. individuos, toneladas de biomasa y carbono por hectárea en cada categoría diamétrica para el bosque de pino-encino.

Spp	CD	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Ind/ha	6	20	7	6	11	4	-	-	-	2	-	-
<i>Quercus spp</i>	Mg.ha ⁻¹ B	0.009	0.064	0.433	0.784	2.087	2.010	-	-	-	2.395	-	-
	Mg.ha ⁻¹ C	0.005	0.031	0.210	0.381	1.015	0.978	-	-	-	1.165	-	-
	Ind/ha	-	2	10	7	10	6	-	-	-	4	-	2
<i>P.pseudostrobus</i>	Mg.ha ⁻¹ B	-	0.013	0.347	0.834	2.141	2.057	-	-	-	2.400	-	2.014
	Mg.ha ⁻¹ C	-	0.006	0.172	0.414	1.063	1.021	1.630	-	-	1.191	-	0.999
	Ind/ha	4	8	14	26	8	33	43	24	13	4	1	
<i>P. teocote</i>	Mg.ha ⁻¹ B	0.006	0.082	0.999	3.498	1.774	12.553	21.451	15.020	8.371	3.626	1.033	10.700
	Mg.ha ⁻¹ C	0.003	0.043	0.523	1.831	0.928	6.570	11.227	7.862	4.381	1.898	0.540	5.600

Anexo 4. Cuadro de datos observados, esperados y residuales para el modelo Michailoff ajustado con la variable independiente DC para *Pinus pseudostrabus*.

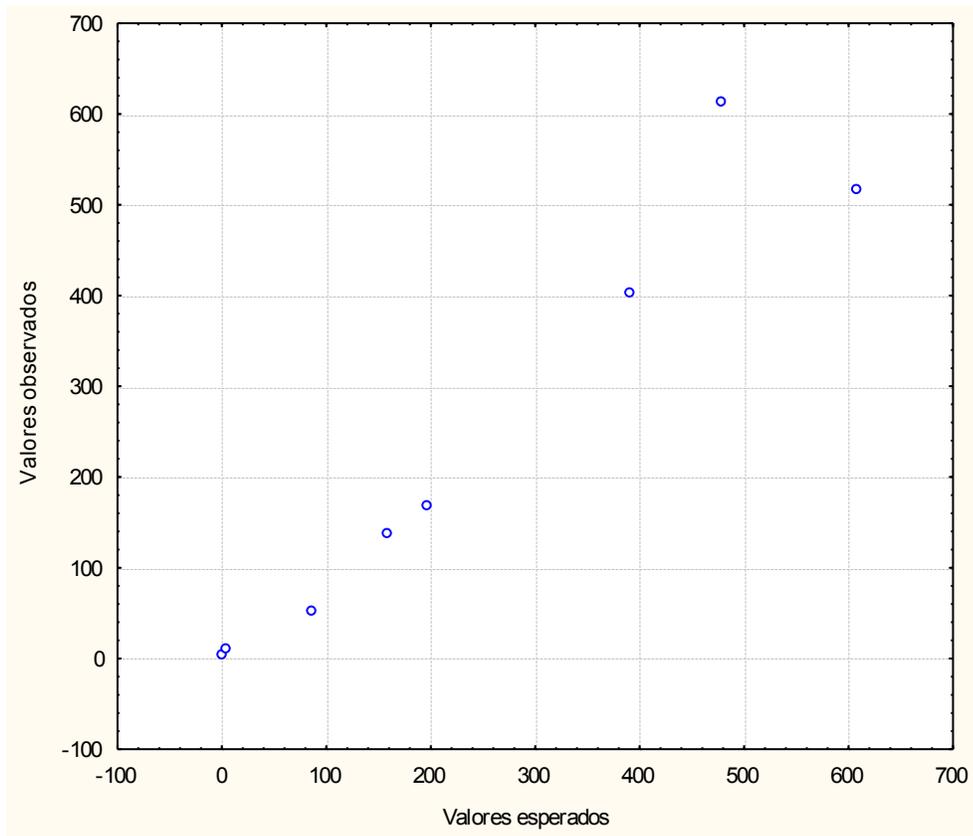
Observados	Esperados	Residuales
401.3647	325.3498	76.015
613.5431	579.0669	34.4762
516.7855	572.6774	-55.8918
50.8371	38.1989	12.6382
137.6479	171.4458	-33.7979
167.6882	203.1253	-35.4371
2.6132	2.5855	0.0277
9.9453	19.7235	-9.7782



Anexo 5. Figura de distribución de los valores observados y valores esperados de estimación de biomasa según el modelo de mejor ajustado (Michailoff) para *Pinus pseudostrabus* con la variable independiente DC.

Anexo 6. Cuadro de datos observados, esperados y residuales para el modelo Michailoff ajustado con la variable independiente diámetro normal para *Pinus pseudostrobus*.

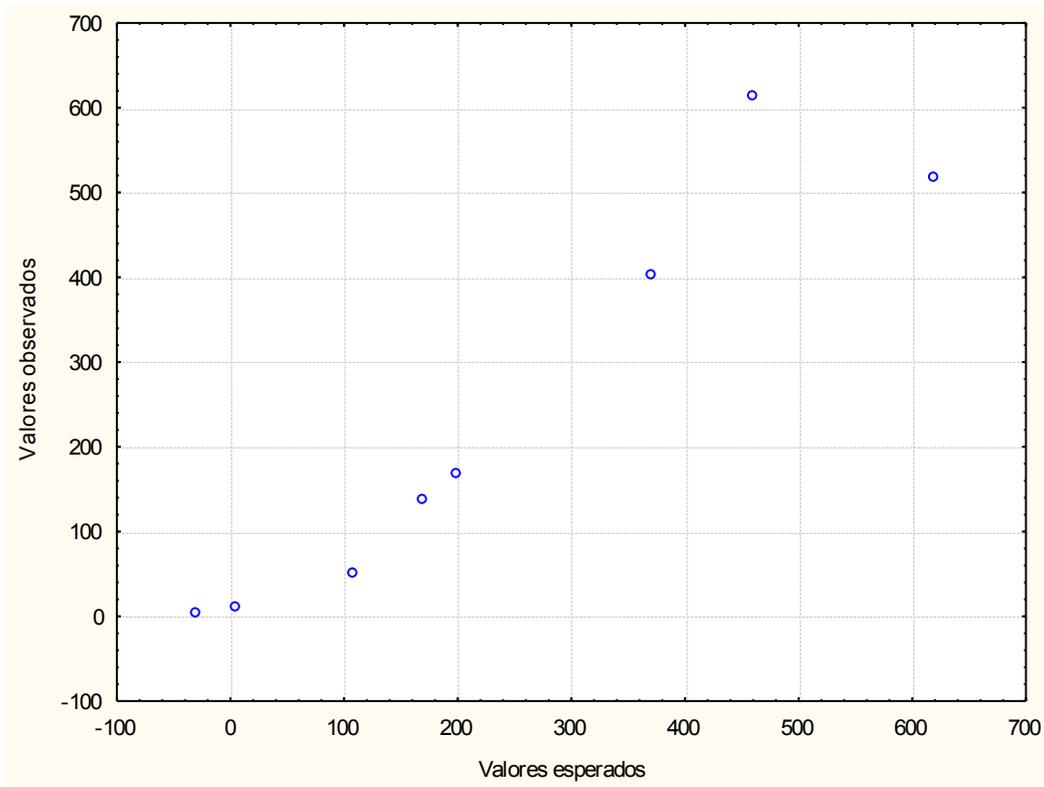
Observados	Esperados	Residuales
401.3647	392.2343	9.1304
613.5431	478.5439	134.9992
516.7855	608.5369	-91.7513
50.8371	86.3275	-35.4904
137.6479	159.9386	-22.2907
167.6882	197.0441	-29.3559
2.6132	1.3241	1.2891
9.9453	4.7392	5.2061



Anexo 7. Figura de distribución de los valores observados y valores esperados de estimación de biomasa según el modelo de mejor ajustado (Michailoff) para *Pinus pseudostrobus* con la variable independiente diámetro normal.

Anexo 8. Cuadro de datos observados, esperados y residuales para el modelo Michailoff ajustado con la variables independientes diámetro normal y h para *Pinus pseudostrabus*.

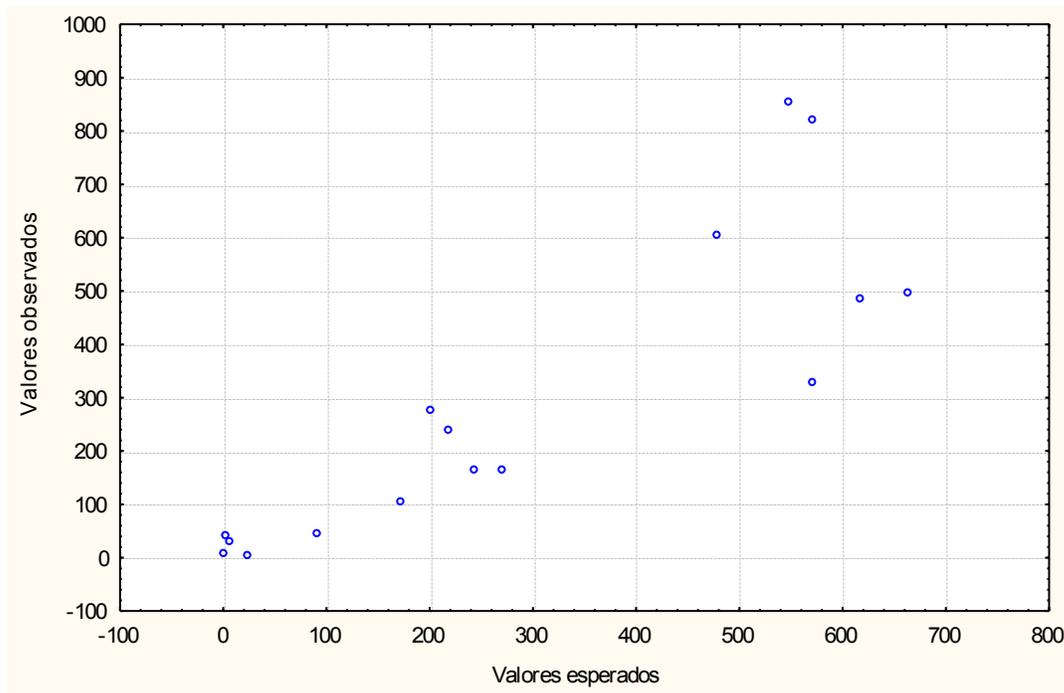
Observados	Esperados	Residuales
401.3647	370.5176	30.847
613.5431	459.8395	153.704
516.7855	618.7951	-102.01
50.8371	108.5065	-57.669
137.6479	169.4875	-31.84
167.6882	199.4449	-31.757
2.6132	-30.6933	33.307
9.9453	4.5274	5.418



Anexo 9. Figura de distribución de valores observados y valores esperados según el modelo mejor ajustado (Compresible) para *Pinus pseudostrabus* con la variables independientes diámetro a 1.3 m y h.

Anexo 10. Cuadro de datos observados, esperados y residuales para el modelo Michailoff ajustado con la variable independiente DC para *Quercus* spp.

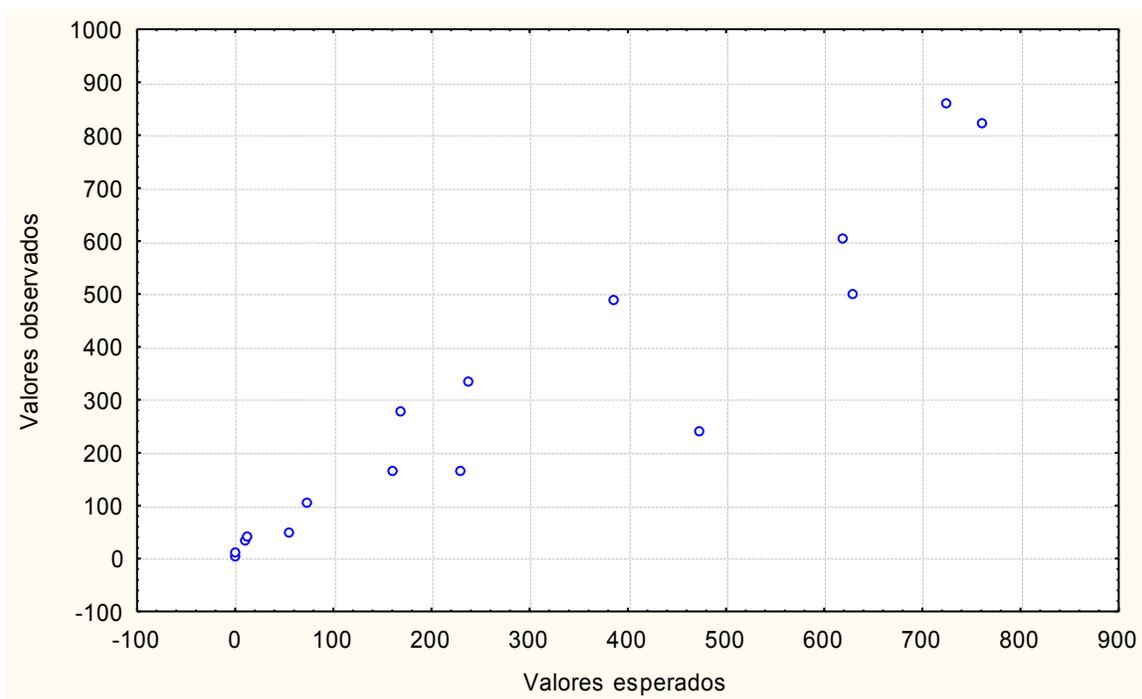
Observados	Esperados	Residuales
487.1121	617.0964	-129.984
275.9052	200.3375	75.568
330.6481	570.8104	-240.162
498.2585	663.4600	-165.202
856.0285	547.7398	308.289
46.4899	91.3150	-44.825
32.1515	5.8919	26.260
3.1040	23.3238	-20.220
9.7856	1.3044	8.481
40.6821	2.4453	38.237
103.7063	171.1287	-67.422
164.5959	244.0113	-79.415
163.2600	270.2385	-106.979
237.5647	218.6833	18.881
603.6653	479.0551	124.610
821.6948	570.8104	250.884



Anexo 11. Figura de distribución de los valores observados y valores esperados de estimación de biomasa según el modelo de mejor ajustado (Michailoff) para *Quercus* spp. con la variable independiente DC.

Anexo 12. Cuadro de datos observados, esperados y residuales para el modelo Michailoff ajustado con la variable independiente diámetro a 1.3 m para *Quercu* spp.

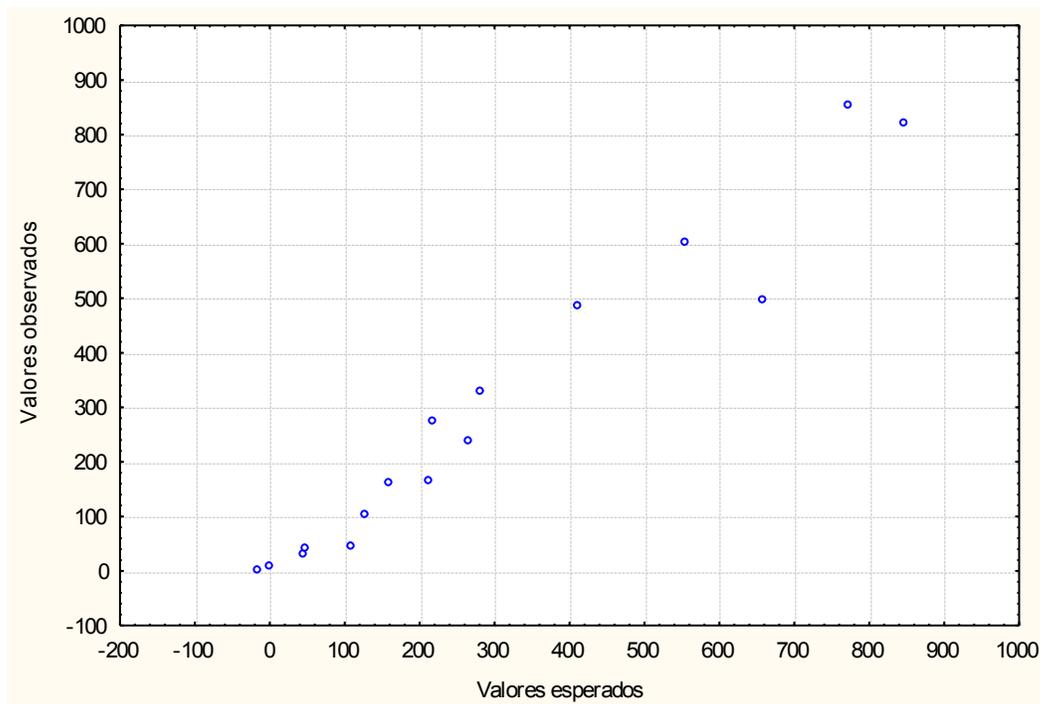
Observados	Esperados	Residuales
487.1121	385.9362	101.176
275.9052	169.8534	106.052
330.6481	239.7498	90.898
498.2585	630.0404	-131.782
856.0285	726.2366	129.792
46.4899	56.0001	-9.510
32.1515	11.9790	20.172
3.1040	1.3030	1.801
9.7856	1.5988	8.187
40.6821	13.1050	27.577
103.7063	73.5711	30.135
164.5959	162.3678	2.228
163.2600	231.2706	-68.011
237.5647	473.7905	-236.226
603.6653	620.0447	-16.379
821.6948	762.4000	59.295



Anexo 13. Figura de distribución de los valores observados y valores esperados de estimación de biomasa según el modelo de mejor ajustado (Michailoff) para *Quercus* spp con la variable independiente diámetro a 1.3m.

Anexo 14. Cuadro de datos observados, esperados y residuales para el modelo Michailoff ajustado con la variables independientes diámetro normal y h para *Quercus* spp.

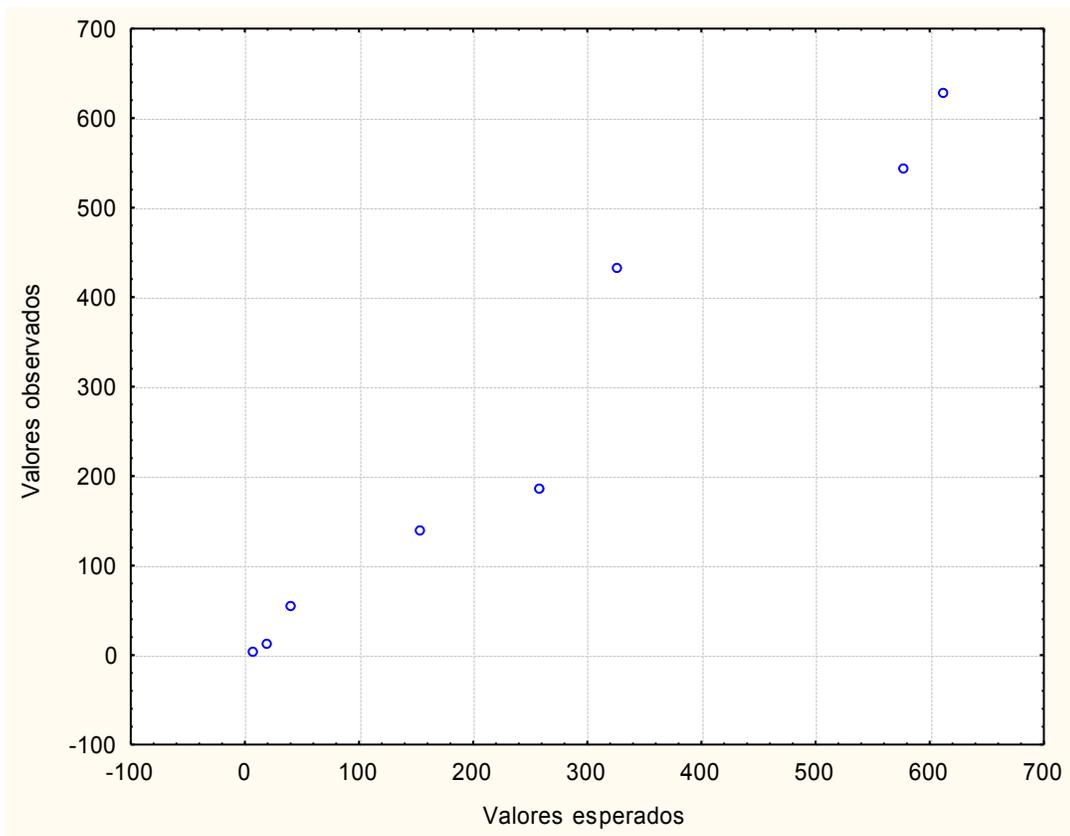
Observados	Esperados	Residuales
487.1121	410.986	76.126
275.9052	217.9134	57.992
330.6481	279.53	51.118
498.2585	658.6411	-160.383
856.0285	770.5817	85.447
46.4899	108.0863	-61.596
32.1515	43.7223	-11.571
3.104	-17.7929	20.897
9.7856	-1.3445	11.13
40.6821	46.2293	-5.547
103.7063	127.1925	-23.486
164.5959	211.2374	-46.641
163.26	157.5818	5.678
237.5647	264.0221	-26.457
603.6653	553.1287	50.537
821.6948	844.9371	-23.242



Anexo 15. Figura de distribución de valores observados y valores esperados según el modelo mejor ajustado (Compresible) para *Quercus* spp. con la variables independientes diámetro normal y h.

Anexo 16. Cuadro de datos observados, esperados y residuales para el modelo Michailoff ajustado con la variable independiente DC para *Pinus teocote*.

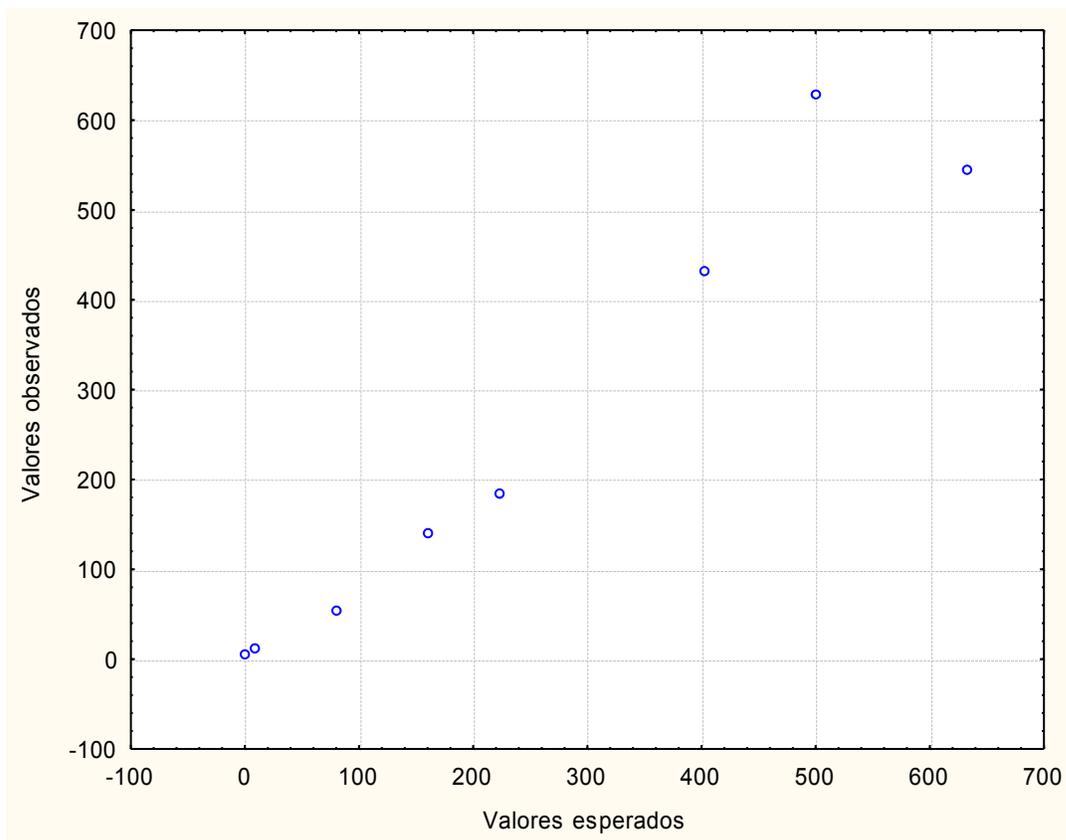
Observados	Esperados	Residuales
2.8750	8.1507	-5.2757
11.0340	20.6147	-9.5807
52.5000	41.7973	10.7027
138.2700	154.8313	-16.5613
183.7810	259.0949	-75.3139
430.5275	327.5738	102.9537
626.1700	612.8096	13.3604
542.7060	577.4457	-34.7397



Anexo 17. Figura de distribución de los valores observados y valores esperados de estimación de biomasa según el modelo de mejor ajustado (Michailoff) para *Pinus teocote* con la variable independiente DC.

Anexo 18. Cuadro de datos observados, esperados y residuales para el modelo Michailoff ajustado con la variable independiente diámetro a 1.3 m para *Pinus teocote*.

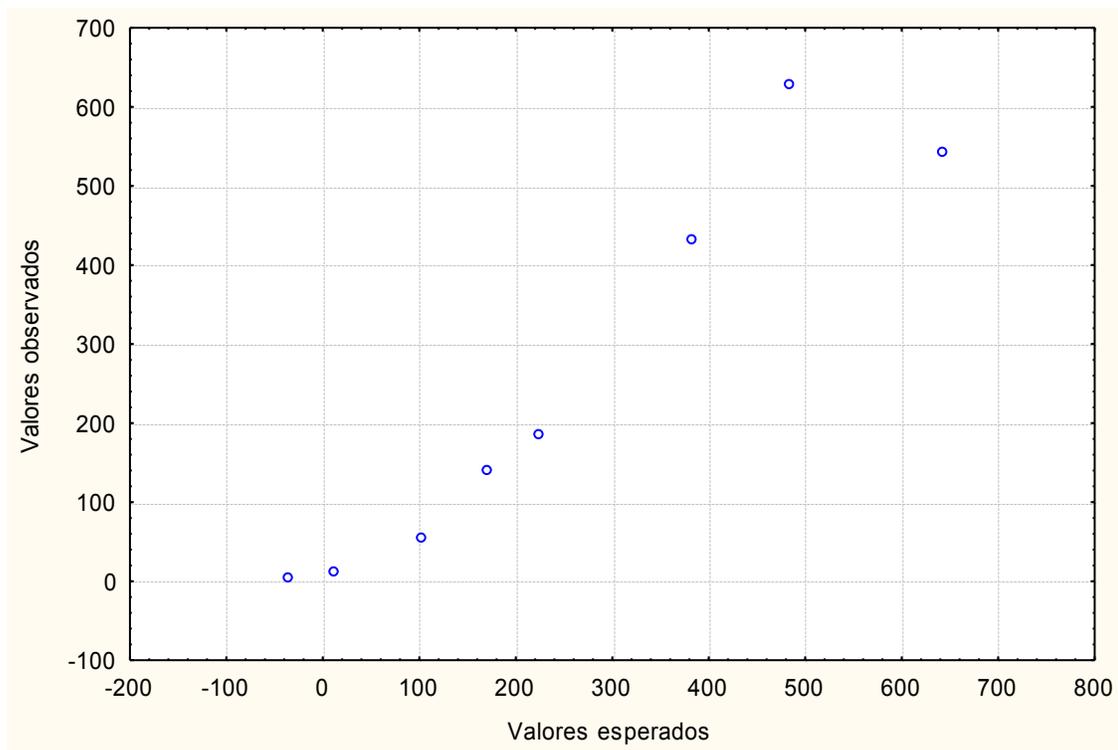
Observados	Esperados	Residuales
2.8750	1.3927	1.4823
11.0340	9.5116	1.5224
52.5000	82.1616	-29.6616
138.2700	160.8285	-22.5585
183.7810	224.4506	-40.6696
430.5275	404.0093	26.5182
626.1700	502.2940	123.8760
542.7060	633.8873	-91.1813



Anexo 19. Figura de distribución de los valores observados y valores esperados de estimación de biomasa según el modelo de mejor ajustado (Michailoff) para *Pinus teocote* con la variable independiente diámetro a 1.3 m.

Anexo 20. Cuadro de datos observados, esperados y residuales para el modelo Michailoff ajustado con la variables independientes diámetro a 1.3 m y h para *Pinus teocote*

Observados	Esperados	Residuales
2.8750	-35.5056	38.381
11.0340	12.2210	-1.187
52.5000	103.5692	-51.069
138.2700	171.2727	-33.003
183.7810	223.8737	-40.093
430.5275	383.5383	46.989
626.1700	484.8991	141.271
542.7060	643.9951	-101.289



Anexo 21. Figura de distribución de valores observados y valores esperados según el modelo mejor ajustado (Compresible) para *Pinus teocote* con la variables independientes diámetro a 1.3 m y h.

Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León

Anexo 22. Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para el bosque de encino-pino.

Fv	gl	Sc	Cm	F	P>f
Tratamientos	1	40.334778	40.334778	5.3556	0.032
Error	17	128.031815	7.531283		
Total	18	168.366592			

Tratamiento	media
2	4.0219 a
1	1.0014 b

Nivel de significancia = 0.05

Tukey = 1.8761

Anexo 23. Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para el bosque de pino.

Fv	gl	Sc	Cm	F	P>f
Tratamientos	1	67.510895	67.510895	4.1708	0.057
Error	15	242.800964	16.186731		
Total	16	310.311859			

Tratamiento	media
2	4.9540 a
1	0.5806 b

Nivel de significancia = 0.05

Tukey = 2.9371

Anexo 24. Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para el bosque de pino encino.

Fv	gl	Sc	Cm	F	P>f
Tratamientos	2	52.285881	6.142941	3.6449	0.043
Error	21	150.620972	7.172427		
Total	23	202.906853			

Tratamiento	media
3	3.4900 a
1	0.5407 b
2	0.5356 b

Nivel de significancia = 0.05

Tukey = 1.9502

Anexo 25. Análisis de carbono dentro de tipos de bosques.

Fv	gl	Sc	Cm	F	P>f
Tratamientos	2	248.454590	124.227295	0.1142	0.894
Error	4	4350.061523	1087.515381		
Total	6	4598.516113			

Anexo 26. Análisis de varianza del contenido de carbono en hojarasca y necromasa en los tipos de bosques.

Fv	gl	Sc	Cm	F	P>f
Tratamientos	1	0.541802	0.541802	1.0386	0.368
Error	4	2.086730	0.521683		
Total	5	2.628532			