

---

# CUANTIFICACIÓN DE AGUA Y CARBONO EN PLANTACIONES DE TECA (*Tectona grandis*, L.F.) EN BAHÍA DE BANDERAS, NAYARIT, MÉXICO.

Agustín Gallegos R.<sup>1</sup>, Agustina García O<sup>2</sup>., Bernardino Parada S<sup>3</sup>.,  
Juan de Dios Benavides <sup>4</sup>, Efrén Hernández A.<sup>5</sup> y José R. Gómez Aguilar <sup>6</sup>

## RESUMEN

Los servicios ambientales son aquellos procesos y funciones de los ecosistemas que, además de influir directamente en el mantenimiento de la vida, generan beneficios y bienestar para las personas y las comunidades, pero es necesario evaluarlos para conocer el efecto real que tienen los bosques y plantaciones en su preservación. En este trabajo se presentan los resultados de la cuantificación del agua y carbono en una plantación de teca.

En el año 2005 se estableció un experimento en tres plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* L. F.) de 8, 9 y 10 años de edad en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, con el propósito de cuantificar la distribución del agua de lluvia. En la plantación de 8 años se determinó la producción de biomasa y captura de carbono. Para conocer la distribución de la lluvia relacionada con la plantación se instalaron pluviómetros en áreas fuera de la plantación y dentro de la plantación con la finalidad de conocer la precipitación total, precipitación interfoliar y el escurrimiento fustal. El periodo de medición en el año 2005 fue del 10 de julio al 15 de octubre, la toma de datos fue semanal, haciendo un total de 14 periodos de observación. Los resultados muestran que durante el periodo la precipitación total fue de 1.077 mm, la precipitación interfoliar total fue de 815 mm y el flujo fustal fue de 103 mm, correspondiendo un 75% y un 10% a la precipitación interfoliar y flujo fustal, respectivamente. La intercepción obtenida de los datos anteriores representa 159 mm y corresponde a un porcentaje del 15% con respecto a la lluvia total, valor que se encuentra dentro del límite inferior de árboles de hoja ancha. Estos valores indican que las pérdidas por intercepción no son altas y se esperaría que una gran cantidad de agua producto del flujo interfoliar y del tallo se ingresaría al suelo a través de la infiltración, propiciando recarga de mantos freáticos.

El potencial de captura de carbono se obtuvo en la plantación de 8 años de edad, en la cual se realizaron derribos de árboles para conocer el peso seco de la biomasa de los árboles. Los resultados indican que la biomasa seca por árbol fue de 58,9 kg, valor que corresponde a una captura de CO<sub>2</sub> de 25,1 kg. La densidad de la plantación es de 1.111 árboles/ha y la captura total de carbono actual es de 27.935 kg/ha y una captura de carbono promedio anual

---

1-Profesor Investigador del centro Universitario en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, Jalisco. gra09526@cucba.udg.mx

2-Estudiante de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias, en la Universidad Autónoma de Nayarit. garciaforestadora@hotmail.com

3-Estudiante de la Maestría tecnológica del Colegio de Postgraduados, Montecillos México

4-Investigador del INIFAP, Pacífico-Centro

5-Profesor Investigador del centro Universitario en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, Jalisco

6-Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Nayarit. roberto@nayar.uan.mx

de 3.492 kg/ha. Valores que se consideran altos para una plantación de esas edades con otras especies.

Palabras clave: *Tectona grandis*, Carbono, Servicios Ambientales.

## **CARBON AND WATER ASSESSMENT ON TECA (*Tectona grandis*, L.F.) PLANTED FORESTS IN BAHÍA DE BANDERAS, NAYARIT, MÉXICO.**

### **SUMMARY**

Environmental services are those ecosystem processes and functions that besides influencing the maintenance of life, they generate comfort and goods for the people and communities. Because of the implication it is important to know the real effect of the forest and plantations to preserve these services. This work has the intention to show the results of the assessment of water and carbon in commercial plantations of teca.

During 2005 several experimental sites were established under plantations of Teca (*Tectona grandis* L. F.) in Bahia de Banderas, Nayarit. The age of the plantations was of 8, 9, and 10 years old and they were used for water evaluation. The biomass and carbon sequestration was only evaluated at the plantation of 8 years old. The water was measured using rain gauges in three ways, rainfall, throughfall and stemflow. The rain gauges used for rainfall were over clear stands outside the plantation and the throughfall and stemflow was directly obtained under the trees. The measured rainy season during 2005 started on July 10<sup>th</sup> and ended on October 15<sup>th</sup>. The data was collected over weekly periods, a total of 14 periods were observed. The results show that the total rainfall was 1,077 mm, the throughfall was 815 mm and stemflow 103 mm, corresponding a 75% and 10% of throughfall and stemflow, respectively related to the total rain. The interception obtained from this data was 159 mm and represents a value of 15% of the total rain, value considered within the range of long leaves forest. This data show that the interception losses are not high and it is expected that most of the water from throughfall and stemflow reaches the soil and infiltrates, which after a period of time percolates reaching the aquifers.

The potential of carbon sequestration was obtained from the 8 years old plantation. The trees were cut to obtain the dry weight of the biomass. The results show that the dry biomass by tree was 58.9 kg, transformed to CO<sub>2</sub> sequestration the value was 25.1 kg. The tree density was 1,111 trees/ha, according to this density the actual carbon sequestration was 27,935 kg/ha and an annual value by hectare of 3,492. These values are considered high compared to other plantations with different species. The results show that water conservation and carbon sequestration can be an important role of Teca plantations and more studies need to be continued in order to confirm the first results.

Key words: *Tectona grandis*, Carbon, Environmental Services.

## INTRODUCCIÓN

Los servicios ambientales son el conjunto de condiciones y procesos naturales que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia y que la sociedad puede utilizar para su beneficio. Dentro de este conglomerado de servicios se pueden señalar la biodiversidad, el mantenimiento de germoplasma con uso potencial para el beneficio humano, el mantenimiento de valores estéticos y filosóficos, la estabilidad climática, la contribución a ciclos básicos (agua, carbono, nutrientes, otros) y la conservación de suelos, entre otros. Para el caso particular de recursos forestales, la producción de tales servicios está determinada por las características de las áreas naturales y su entorno socioeconómico (Torres y Guevara, 2002).

Dentro de los servicios ambientales que prestan las plantaciones forestales está el secuestro y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (el gas más abundante de los que se encuentran en la atmósfera y ocasionan el efecto invernadero.) mitigando los efectos negativos en la calidad de aire. Además de la captura de agua o desempeño hidráulico.

El potencial de infiltración de agua de un área arbolada depende de un gran número de factores tales como: la cantidad y distribución de la precipitación, el tipo de suelo, las características del mantillo, el tipo de vegetación y geomorfología del área, entre otros. Esto indica que la estimación de captura de agua debe realizarse para áreas específicas y con información sobre la mayor parte de estas variables (Torres y Guevara, 2002).

En el presente trabajo se pretende determinar y cuantificar de manera preliminar la captura de carbono y el agua de lluvia que ingresa a las plantaciones de *Tectona grandis*, a través de metodologías para cuantificar el agua de lluvia y la corta de algunos árboles para determinar el potencial de captura de carbono en el Municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, México.

## OBJETIVO

Determinar y cuantificar el ingreso de agua y la captura de carbono en plantaciones forestales de *Tectona grandis* de 8, 9 y 10 años de edad, durante un año de observaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Área de Estudio

Este trabajo se desarrollo en el municipio de Bahía de Banderas, Estado de Nayarit, México, ubicado en la costa occidental del país. El clima es cálido subhúmedo, Aw2(w), con régimen de lluvia de junio a diciembre y enero, con una precipitación anual que fluctúa en el rango de 1200 a 1500 mm. La temperatura media anual va de los 22° a los 24° C, la presencia de heladas es muy poco frecuente. La dirección predominante de los vientos es de oeste a este (Figura N° 1).

La vegetación, en general, se encuentra basada en especies de selva baja subcaducifolia, vegetación halófila, palmares y agricultura de temporal y riego, siendo las predominantes: capomo (*Brosimum alicastrum*), huanacaxtle (*Enterolobium cyclocarpum*), papelillo (*Bursera arborea*), higuera (*Ficus padifolia*), hule (*Castilla elástica*), coquito de aceite (*Orbignia guayacole*), mata palo (*F. tecolutensis*), palma de llano (*Sabal rosei*), coyul (*Gerocomia mexicana*) y jarretadera (*Acacia hormiguera*), entre otras.

Para desarrollar este trabajo se seleccionarán 3 parcelas experimentales (plantaciones) de 1 ha, en cada una de ellas se eligen 4 subparcelas de 100 m<sup>2</sup> en donde se establece cada uno de los experimentos que darán respuesta a las variables para determinar el agua y carbono (Figura N° 2).

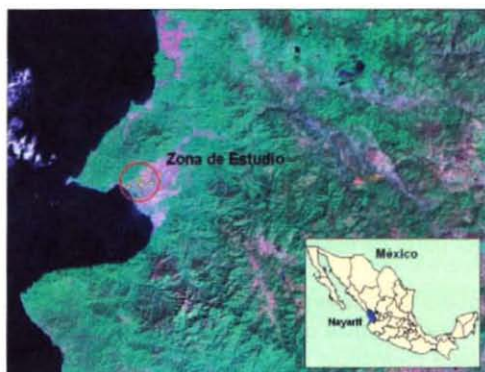


Figura N° 1  
UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

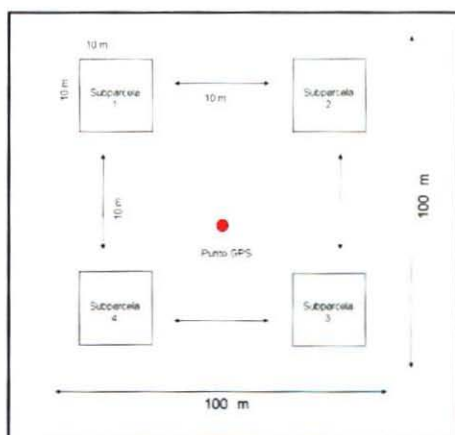
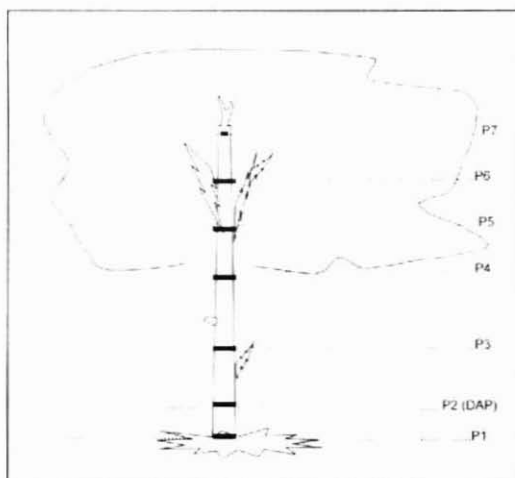


Figura N° 2  
PARCELAS DE MUESTREO

## Metodología para Carbono

La medición de la biomasa se efectuó de acuerdo con método propuesto por Schlegel *et al.* (2000). Una vez seleccionados los árboles a muestrear, se realizaron 3 tipos de mediciones, la primera con los árboles en pie, la segunda con los árboles derribados y la tercera en la parte subterránea del árbol. En el predio seleccionado se delimitó un conglomerado de 4 subparcelas de muestreo de 100 m<sup>2</sup> cada una, (10 x 10 m), a una distancia, entre punto central de cada subparcela, de 60 m.

Todos los árboles que cayeron dentro de las subparcelas fueron medidos tomándose las siguientes variables: Diámetro a la altura del pecho (DAP), Altura a la primera rama, Altura total del árbol y Cobertura de copa (Figura N° 3). En relación a estas variables en cada subparcela se determinó el árbol promedio, se derribó, se troceó y separaron cada uno de sus componentes (fuste, ramas y hojas) y se pesaron en fresco, esto para la parte aérea del árbol. Para la parte subterránea se extrajo la raíz, se cortó en secciones; separando raíz gruesa, medianas y chicas, se pesaron en fresco, se tomaron muestras de cada componente, se guardaron en bolsas de plástico selladas, para ser trasladadas a laboratorio, donde en una estufa se secaron a 100° C, hasta obtener su peso constante. Mediante la suma del peso fresco de cada uno de los componentes del árbol se obtuvo el peso total del árbol (PTA), y con el secado de las muestras se obtuvo, por diferencia de pesos, la cantidad de biomasa de cada árbol, determinándose en porcentaje para poder ser aplicado, porcentualmente, a todos los árboles de las subparcelas y del predio en estudio. Asimismo al peso seco de cada componente del árbol se le aplicó un índice de captura de carbono del 0,4269, propuesto por Jo y Mc Pherson (1995), ese resultado se proyectó a toda la subparcela y al predio determinándose con ello el potencial de captura de carbono atmosférico de las plantaciones forestales con la especie teca, en las condiciones del Municipio de Bahía de Banderas, México.



**Figura N° 3**  
**SECCIONES DEL ÁRBOL PARA DETERMINAR LA BIOMASA**

## Metodología para Cuantificar el Ingreso de Agua

Antes del inicio de las lluvias del verano 2005, se estableció en plantaciones forestales comerciales de teca de 8, 9 y 10 años de edad un experimento para cuantificar el agua que ingresa a través de la lluvia.

La metodología es la descrita por Fassbender (1987), en la que se evalúan las siguientes variables: Lluvia o ingreso de agua al ecosistema, Lavaje foliar, Lavaje de tallos, Intercepción, Ingreso al suelo, Escurrimiento superficial, Evapotranspiración, Transpiración, Percolación y Egreso del suelo

Para establecer el presente experimento se seleccionaron 3 plantaciones forestales comerciales; dos de *Tectona grandis* (teca) y una de *Cedrela Odorata* (cedro). Como la superficie plantada es mayor a 1 ha, el experimento se estableció en el centro de cada plantación, a fin de evitar el efecto de orilla. El experimento se estableció de la siguiente manera:

En el centro de la parcela, se eligió una superficie de 1-00-00 ha, donde se midieron 4 subparcelas de 10m<sup>2</sup> c/u, con 60 m de separación entre subparcela y subparcela (ver fig. 2).

En cada una de las subparcelas se estableció lo siguiente:

- Pluviómetro de material plástico bajo el dosel, prefabricado con material pvc de 2,5 cm de diámetro y 50 cm de largo, mismo que fue colocado en el interior de otro tubo pvc de 50 cm, con diámetro de 4 cm, que fue enterrado 20 cm y llenado de grava otros 20 cm, para en los 10 cm restantes introducir el pluviómetro y elevarlo del suelo para evitar salpicadura de agua e introducción de partículas de suelo. Esto hace un total de 4 pluviómetros por parcela, con los que se medirá la variable de Lavaje foliar bajo el rodal (LFR). Las observaciones se realizarán en forma semanal.
- Primeramente, se midió el diámetro de todos los árboles que se encontraron en las subparcelas de 10 m<sup>2</sup> y se les sacó una media, esta media se consideró para seleccionar 1 árbol en el centro de cada subparcela, al cual se le colocó plástico negro para acolchar desde la altura de 1 m, sujetado con rafia. Luego se realizó una excavación con 10 cm de profundidad aproximadamente alrededor del árbol, para formar la canaleta con el mismo plástico con que fue cubierto el tallo; posteriormente se realizó un hoyo donde fue colocado un recipiente de 20 L, donde se introdujo la punta de la canaleta de plástico que conducirá el agua hacia el recipiente donde se medirá la variable Lavaje de Tallos (LT) y las observaciones serán semanales.
- Se colocó 1 canaleta de 1 m<sup>2</sup> para delimitar el área donde se medirá el escurrimiento superficial, la canaleta fue construida con 4 tablas de madera de 1 m de largo y 20 cm de ancho, en un extremo (del lado de la pendiente de cada terreno) se realizó un orificio de 2", donde se colocó un tubo de PVC de 15 cm de largo que conducirá el agua escurrida hacia un colector de plástico de 20 L, que previamente fue enterrado. En este colector se medirá la variable Escurrimiento superficial del suelo (ESS) mediante observaciones

semanales.

- En cada subparcela, se realizará un perfil de humedad, muestreando a 20, 40 y 60 cm de profundidad, utilizando el método gravimétrico. Posteriormente se realizará la transformación a láminas de agua, para conocer el % obtenido. Estos muestreos se realizarán en forma mensual, con lo que se determinará la variable Percolación (PER).
- Finalmente, en la periferia de la plantación (fuera del rodal), se colocaron 4 pluviómetros similares a los antes descritos para medir el agua de lluvia o el Ingreso de agua al ecosistema (IAE) mediante observaciones semanales.

VARIABLES ESTIMADAS:

Intercepción; equiparable a la evaporación desde el rodal:

Se calculará como la diferencia entre la lluvia y la suma del lavaje foliar y de los tallos, la fórmula es la siguiente:

$$(EVR) (I) = \sum IAE - (\sum LF + \sum LT)$$

Donde:

EVR = Evaporación

I = Intercepción

$\sum IAE$  = Suma de ingreso de agua al ecosistema

$\sum LF$  = suma de lavaje foliar

$\sum LT$  = suma de lavaje de tallos

Ingreso al suelo:

Se calcula como la suma del lavaje foliar y el lavaje de tallos, mediante la ecuación siguiente:

$$IAS = \sum LF + \sum LT$$

Donde:

IAS = Ingreso de agua al suelo

$\sum LF$  = suma de lavaje foliar

$\sum LT$  = suma de lavaje de tallos

Evapotranspiración:

Se determinará con los datos climáticos que por evaporación se reporten en la estación meteorológica de San José del Valle Nayarit., utilizando la fórmula de Blaney y Cridley.

Transpiración del rodal, equiparable a la absorción de agua a partir del suelo:

Se calcula como la diferencia entre la evapotranspiración y la evaporación (intercepción) del rodal.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados son obtenidos de 4 subparcelas con 34, 27, 24 y 27 árboles, haciendo un total de 112, de los cuales sólo se derribaron 4 para el cálculo de la biomasa. En el Cuadro N° 1 se presenta la relación de Peso Seco / Peso fresco por cada árbol muestra.

**Cuadro N°1**  
**POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO POR ÁRBOL MUESTRA**

	ÁRBOL 13	ÁRBOL 27	ÁRBOL 13	ÁRBOL 21
PFTA (kg)	80.415	58	178.28	168.145
PS (kg)	33.0808	31.001	85.289152	87.4354
%	41.13	53.45	47.84	52.00
Carbono capturado (kg)	14.122	13.234	36.409	37.326
%	17.56	22.81	20.42	22.19

PFTA= peso fresco total árbol

PS= peso seco

Estableciendo una proyección, sumando las proporciones de peso seco (PS) por cada árbol muestreado, arroja un indicador que puede ser aplicado a las subparcelas de muestreo y al predio en general, con ello se determina su potencial para el Peso Seco total y aplicando el índice de Jo y Mc Pherson se obtiene el potencial del secuestro de carbono (SC), (Cuadro N° 2).

Indicador proyectado de peso seco

$$PS = (41.13+53.45+47.84+52)/4 = 48,6\%$$

**Cuadro N° 2**  
**PROYECCIÓN DE PESO SECO Y CARBONO SECUESTRADO POR CADA SUBPARCELA**

Subparcela	N° de árboles	Peso del árbol promedio	PF total de la subparcela	PS total de la subparcela	SC total de la subparcela
1	34	80.415	2412.45	1172.4507	500.52
2	27	58.00	1566	761.076	324.90
3	24	178.28	4278.72	2079.4592	887.72
4	27	168.145	4539.915	2206.3986	941.91
TOTAL	112	484.84	12797.085	6219.3845	2655.05

Donde: PF = peso fresco, PS = peso seco, SC = secuestro de carbono

Como las parcelas fueron seleccionadas de manera aleatoria, siguiendo la misma metodología, se puede determinar un promedio de peso fresco total para todos los árboles, que en este caso sería de 121,21 kg y aplicando el Indicador Proyectado de Peso Seco de 48,6, daría un peso seco de 58,9 kg y multiplicándolo por el índice de Jo y Mc Pherson arrojaría que



la captura de carbono por ese árbol promedio sería de 25,1478 kg de carbono secuestrado y multiplicándolo por el total de árboles del predio (1.111 árboles/ha) arroja la cantidad de 27,939 kg/ha a los 8 años de edad. Cantidad que según lo reportado por otros autores es buena.

Se observó que el diámetro de las raíces, en promedio, fue de 2,5 m, dato a considerar para próximas extracciones. El sistema radicular de teca es extendido y una raíz de las principales se anclaba con mayor profundidad y siempre en dirección al oriente, la dirección en que corren los vientos venidos de la bahía.

Los resultados de la cuantificación del ingreso de agua de las plantaciones de teca arrojaron los siguientes:

- El periodo de medición en el año 2005 fue del 10 de julio al 15 de octubre, la toma de datos fue semanal, haciendo un total de 14 periodos de observación (Cuadro N° 3). Los resultados muestran que durante el periodo la precipitación total fue de 1.077 mm, la precipitación interfoliar total fue de 815 mm y el flujo fustal fue de 103 mm, correspondiendo a un 75% y un 10% a la precipitación interfoliar y flujo fustal, respectivamente. La intercepción obtenida de los datos anteriores representa 159 mm y corresponde a un porcentaje del 15% con respecto a la lluvia total, valor que se encuentra dentro del límite inferior de árboles de hoja ancha. Estos valores indican que las pérdidas por intercepción no son altas y se esperaría que una gran cantidad de agua producto del flujo interfoliar y del tallo se ingresaría al suelo a través de la infiltración, propiciando recarga de mantos freáticos.

**Cuadro N° 3**  
**PROMEDIOS MENSUALES (mm) DURANTE EL PERÍODO DE LLUVIA 2005**

VARIABLE	PROMEDIOS MENSUALES			
	JUL	AGO	SEP	OCT
<b>IAE (Ingreso de agua al ecosistema)</b>	<b>276.75</b>	<b>387.03</b>	<b>286.40</b>	<b>126.4</b>
L F (Lavaje foliar)	192.12	293.54	228.96	100.8
LT (Lavaje de tallos)	24.82	36.48	28.67	12.6
ESS (Escurrimiento superficial del suelo)	83.60	116.11	86.42	37.82
I (Intercepción)	59.81	57.01	28.77	12.96
Is (Ingreso al suelo)	216.94	330.02	257.63	113.41
Et (Evapotranspiración)	122.4	128.7	103.5	104.7
Tr (Transpiración)	30.9	32.2	26.1	26.2
P (Percolación)	7.7	19.0	27.1	31.0

## CONCLUSIONES

Los resultados preliminares obtenidos de captura de carbono de las plantaciones de teca de 8 años, comparados con reportes de otros autores, son buenos. Con respecto a los datos del balance hídrico, la intercepción reporta un valor que se encuentra dentro del límite

inferior de árboles de hoja ancha. Estos valores indican que las pérdidas por interceptación no son altas y se esperaría que una gran cantidad de agua producto del flujo interfoliar y del tallo se ingresaría al suelo a través de la infiltración, propiciando recarga de mantos freáticos

Es importante mencionar que dentro de este estudio, se analizará las ventajas y desventajas que tienen los servicios de agua y carbono en plantaciones comerciales en comparación con los bosques nativos, para tratar de evaluar si las plantaciones son una opción en términos de los servicios ambientales.

## RECONOCIMIENTOS

Agradecimiento al Proyecto CONACYT-CONAFOR 2004-CO4-57

## REFERENCIAS

**Comisión Nacional del Agua, 2005.** Registro de Información Climática de la Estación San José del Valle, Nayarit a partir de 1979.

**Escobedo R. J. S., 1983.** Calibración de un pluviómetro de poliducto, con otros de tipo comercial. Ponencia presentada en el XVI Congreso Nacional de la S.M.C.S. Oaxaca, Oax. Terra. Año 2, No. 1. 1984. Pág. 80-84.

**García P, J. D., et al., 1991.** Calibración de dos tubos PVC para su uso como pluviómetros. V. Congreso Nacional de Meteorología. Cd. Juárez, Chihuahua. Memoria. Pág. 127.

**Fassbender H. W., 1987.** Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 475 p. (Serie de materiales de enseñanza No. 29).

**INEGI, 2000.** Síntesis de Información Geográfica del Estado de Nayarit,

**Jo H. E. y E. G. Mc Pherson, 1995.** Carbon storage and flux in urban residential greenpace. J. Env. Mgmt. 45:109-103

**Parada, Bernardino, 2000.** Las plantaciones forestales comerciales de Teca (*Tectona grandis* L.f) una alternativa de desarrollo para la región costera en el estado de Nayarit, Tesis de Maestría ,Chapingo, Mexico.

**Roberto Sanquetta, Farinha Watzlawic, L. y Eduardo Arce J., s/f.** Ecuaciones de biomasa aérea y subterránea en plantaciones de Pinus taeda en el sur del Estado de Paraná, Brasil", Universidad Federal de Paraná, Departamento de Ciencias Forestales.

**Schlegel, B., Gayoso J. y Guerra J., 2000.** Manual de Procedimientos, muestreo de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia.

**Torres Rojo Juan Manuel y Guevara Sanginés Alejandro, 2002.** El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. Gaceta Ecológica, Instituto nacional de ecología. En: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/539/53906303.pdf>