

CAPTURA DE CARBONO POR *Cedrela odorata* L. EN UNA PRUEBA GENÉTICA

CARBON SEQUESTRATION BY *Cedrela odorata* L. IN A GENETIC TRIAL

Lilia del Carmen Mendizábal-Hernández¹, Juan Alba-Landa¹, Juan Márquez Ramírez¹,
Héctor Cruz-Jiménez¹ y Elba Olivia Ramírez-García¹

RESUMEN

A partir del papel principal del CO₂ en el calentamiento global, el almacenamiento de carbono efectuado por los árboles, como resultado de la fotosíntesis, permite la mitigación del efecto invernadero. El valor genético de estos organismos varía, y por lo tanto su capacidad de captura y contenido del mismo. Por ello, y con el objetivo de conocer las diferencias en tres procedencias de *Cedrela odorata*: Catemaco, La Antigua y Misantla del estado de Veracruz con cuatro familias en la primera y ocho en las dos restantes, que se establecieron en una prueba de procedencias / progenie localizada en el Ejido La Balsa, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz; se evaluó la altura y el DAP de ejemplares a los ocho años de edad. A partir de su volumen se estimó la concentración de carbono en la biomasa aérea a través del método del IPCC modificado por Mendizábal-Hernández. Se practicó un análisis de varianza (GLM) con un modelo lineal de efectos fijos. El carbono estimado total con la prueba genética fue de 3,111.07 kg. Solamente se presentaron diferencias significativas para la variación entre árboles, lo fue, lo que da la posibilidad de realizar una selección individual para incrementar la captura de carbono. Por lo tanto, se concluye que la eficiencia de captura puede incrementarse en futuras plantaciones, a partir de la progenie conocida, con la selección de los mejores individuos.

Palabras clave: Captura de carbono, *Cedrela odorata*, mejoramiento genético, procedencias, progenie, variación.

Fecha de recepción: 10 de febrero de 2010

Fecha de aceptación: 25 de marzo de 2011

ABSTRACT

From the role of CO₂ in global warming, carbon storage made by trees as a result of photosynthesis allows the mitigation of greenhouse gases. The genetic value of the trees of a species varies, and therefore, their ability to capture and store carbon; in order to understand these differences, height and DBH of eight year-old *Cedrela odorata* trees was assessed from three provenances from the state of Veracruz (Catemaco, La Antigua and Misantla) with 4, 8 and 8 families, respectively, which were established in a provenance/progeny trial in the La Balsa Ejido, Emiliano Zapata municipality, Veracruz. With volume, carbon concentration in aboveground biomass was estimated using the IPCC method suitable for Mendizábal-Hernández. An analysis of variance (GLM) was applied with a fixed effects linear model. The total estimated carbon obtained from genetic testing was 3,111.07 kg; however, there were no significant differences among provenances or families, but the variation among trees was significant as it represents the possibility of making an individual selection to increase carbon sequestration. Thus, it can be concluded that CO₂-capture efficiency can be increased in future *Cedrela odorata* plantations if it is planted with known genetic offspring through the selection of the best trees.

Key words: Carbon sequestration, *Cedrela odorata*, breeding, provenance, progeny, variation.

Fecha de recepción: 10 de febrero de 2010

Fecha de aceptación: 25 de marzo de 2011

¹ Instituto de Genética Forestal. Correo-e: lmendizabal@uv.mx

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la FAO (2006), de los países que comprenden América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América y México) la mayor deforestación, de 1990 a 2005, tuvo lugar en México, debido principalmente a la expansión agrícola y a la sobreexplotación de la madera. Además, el cambio climático ha intensificado las amenazas a los bosques, al aumentar las sequías y generar mayor incidencia de plagas.

El papel de la fotosíntesis es de sobra conocido por quienes realizan actividades de evaluación relativas al crecimiento de las plantas, ya que mediante este proceso los árboles capturan y almacenan carbono en sus tejidos. Por ello se le considera una alternativa importante para mitigar el efecto invernadero, dado que el CO₂ es el principal gas que contribuye al calentamiento global (Bidwell, 1979; Medrano y Flexas, 2000; Mendizábal-Hernández *et al.*, 2008).

El valor genético de los individuos arbóreos dentro de las poblaciones naturales les otorga capacidades fotosintéticas diferentes, porque no todos los descendientes de progenitores del bosque tienen los mismos rendimientos de captura y almacenamiento. Estos son proporcionales a su desarrollo, y se evalúan a partir de la biomasa con las variables cuantitativas de altura, DAP y densidad de la madera. Características que difieren entre árboles y son reguladas por genes que aumentan su frecuencia por medio de la selección en plantaciones comerciales, tal es el caso de *Cedrela odorata* L. para los trópicos húmedos, que por la calidad y uso de su madera tiene doble propósito (lucrativo y de almacenamiento). Por lo anterior, deben regularse las metodologías para el establecimiento de plantaciones como resumideros de carbono (Zobel y Talbert, 1988).

La importancia actual que tienen los bosques a nivel mundial como productores de bienes públicos, en particular para la captura y almacenamiento de carbono, junto con el aumento constante en la demanda de productos maderables (FAO, 2009) ha originado un auge en el estudio de la diversidad de las especies forestales. Al respecto, el presente trabajo se llevó a cabo con el propósito de conocer, en su etapa juvenil, la capacidad de captura de carbono de *C. odorata* para ser utilizada en programas nacionales de reforestación, con una orientación hacia los servicios ambientales y la conservación de genes identificados en procedencias y familias, que mediante la selección de ciertos individuos mejoren la cantidad de carbono almacenado en las plantaciones.

En los bosques tropicales, las poblaciones de cedro (*Cedrela odorata*) y de caoba (*Swietenia macrophylla* King) han mermado por su alto valor comercial, el cual favorece su extracción selectiva (Patiño, 1997). Para finales de los años 90, su densidad promedio aprovechable era de 0.25 individuos ha⁻¹ (Díaz-Maldonado *et al.*, 2007).

INTRODUCTION

According to FAO (2006), of the countries that conform North America (Canada, United States of America and Mexico) in Mexico took place the greatest deforestation from 1990 to 2005, mainly due to agriculture expansion and wood overharvesting. Climatic change has intensified threatens to forests, as it increased droughts and a greater plague incidence. The role of photosynthesis is well known by those who assess plant growth, since by this process, trees capture and store carbon in their tissues. Thus, it is considered an important alternative to mitigate the greenhouse effect, since CO₂ is the main gas involved in global warming (Bidwell, 1979; Medrano and Flexas, 2000; Mendizábal-Hernández *et al.*, 2008).

The genetic value of tree individuals within the natural populations grants them different photosynthetic abilities, because not all the offspring of the forest parents have the same yield and storage. They are proportional to their development and are assessed from biomass with the quantitative variables of height, DAP and wood density, which differ among trees and are regulated by genes that increase their frequency by means of selection of commercial plantations; such is the case of *Cedrela odorata* L. for the humid tropics, that, from the quality and use of wood, is a double purpose (lucrative and storage) species. Thus, the methodologies to establish plantations as carbon depots must be regulated (Zobel y Talbert, 1988).

The importance of forests world-wide at present as public wealth producers, for carbon sequestration and storage in particular, in addition to the constant increment in the demand of wood products (FAO, 2009), has started a boom in the study of the diversity of forest species. In this regard, the actual study was carried out in order to know, in its young stage, the carbon sequestration ability of *C. odorata* to use it in national reforestation programs, with an orientation towards environmental services and the conservation of genes identified by provenances and families, that, through the selection of some individuals, improve the amount of carbon stored in plantations.

In tropical forests, the populations of cedar (*Cedrela odorata*) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) have diminished as they have a very high commercial value, which has promoted their selective extraction (Patiño, 1997). By the end of the '90s, its average harvest density was of 0.25 plants ha⁻¹ (Díaz-Maldonado *et al.*, 2007).

Cedrela odorata grows from Mexico to Argentina. At a national scale, it is found in the Gulf of Mexico region from Tamaulipas State to Península de Yucatán; on the Pacific side, from Sinaloa State to Guerrero State and in the Central Depression and the Coast of Chiapas State (Pennington and Sarukhán, 1998). The weather is contrasting as it is a

Cedrela odorata se distribuye desde México hasta Argentina. En el territorio nacional se localiza en la Vertiente del Golfo de México, de Tamaulipas a la Península de Yucatán; en la Vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta Guerrero y en la Depresión Central y la Costa de Chiapas (Pennington y Sarukán, 1998). El clima es contrastante por tratarse de una vasta región geográfica de fajas latitudinales cálidas que cubre al bosque subtropical, a través del bosque subtropical húmedo, bosque subtropical muy húmedo, tropical húmedo y muy húmedo y el tropical premontaña húmeda y muy húmeda en la zona ecuatorial. Se desarrolla de mejor manera en los climas estacionalmente secos. Alcanza su mayor prominencia bajo una precipitación anual de 1,200 a 2,400 mm, con una estación seca de 2 a 5 meses de duración.

El cedro puede ser muy demandante en cuanto a sus requisitos de suelo. Crece en las arcillas derivadas de piedra caliza, pero también en los sitios bien drenados, sobre suelos ácidos derivados de rocas volcánicas (Ultisoles). El denominador común parece ser el drenaje y la aireación del suelo y no su pH (Cintron, 1990).

A continuación se documenta la evaluación de la cantidad de carbono contenido en medios hermanos de tres procedencias y 20 familias de *Cedrela odorata* en una plantación de ocho años de edad.

La evaluación se realizó en una prueba de procedencias /progenie de *C. odorata* establecida en el ejido La Balsa, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz el 20 de septiembre de 2000 localizada a 19° 20' 59.27 norte y 96° 38' 43.58 longitud oeste y a una altitud de 404 m (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2009). La temperatura media anual es de 25.1°C y la precipitación total anual de 912.1 mm (SMN, 2008). Las zonas aledañas al ejido, que comprenden 15,000 ha y abarcan desde la localidad de Carrizal hasta el municipio de Rinconada, muestran condiciones ambientales similares.

Se incluyen tres procedencias: Catemaco, La Antigua y Misantla con un total de 20 familias (Cuadro 1). El diseño de las plantaciones es de seis bloques completos al azar con cuatro plantas por familia, se estableció con un sistema de surcado en forma de cuadro con espaciamiento entre plantas e hileras de tres metros. La plantación no presenta hileras de protección, dado que el sitio se localiza a cielo abierto sin vecindad arbórea (Cruz, 2009).

Cuadro 1. Localización de las procedencias y número de familias de *Cedrela odorata*.
Table 1. Location of provenances location and number of families of *Cedrela odorata*.

Sitio	Latitud	Longitud	Familias
	N	O	
Misantla	19° 44' 15" 56	96° 34' 96" 47	8
La Antigua	19° 14' 19" 25	96° 13' 96" 23	8
Catemaco	18° 17' 18" 35	94° 53' 95" 12	4

broad geographic region of warm latitudinal strips that cover the subtropical forest, through a subtropical humid forest, very humid subtropical forest, humid tropical forest and very humid forest, humid tropical pre-mountainous forest and very humid forest in the equatorial zone. It achieves a better development in seasonal dry climates. It reaches its best prominence under an annual precipitation between 1,200 a 2,400 mm with a dry season of 2 to 5 months long.

Cedar can be very demanding in terms of soil requirements. It grows on clays from limestone, but also in well-drained sites, over acid soils from volcanic rocks (Ultisoles). The common factor seems to be drainage and soil aeration and not pH (Cintron, 1990).

Next is described the assessment made of the amount of carbon in half-brothers from three provenances and 20 families of *Cedrela odorata* in a plantation of eight years old.

The evaluation was made in provenance /offspring trial of *C. odorata* established in La Balsa ejido, Emiliano Zapata municipality, Veracruz State, in September 20th, 2000, located at 19° 20' 59.27 North and 96° 38' 43.58 West at an altitude of 404 m (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2009). Average annual temperature is 25.1°C and 912.1 mm as total annual precipitation total (SMN, 2008). The neighboring zones to the ejidos include 15,000 ha and cover from Carrizal town up to Rinconada municipality, which show similar environmental conditions.

Three provenances were considered: Catemaco, La Antigua and Misantla with 20 families (Table 1). The plantation was organized following a randomized complete six-block design with four plants by family; a furrow system in square form with a 3 m spacing between plants and lines was established. It does not have protection rows, since the place is located at a spot without any neighboring trees (Cruz, 2009).

The sites of the populations are different. So, Misantla is related to crops and grasslands, mainly, in boundary and slope lands, with altitudes of 380 m, 1,962.2 mm average annual precipitation, 22.9°C and Ferric Luvisol soils. While in La Antigua, there is an area for livestock, with Cromic Vertisol soils, 1,226.5 mm average annual precipitation, 25.6°C and altitude of 20 m. In Catemaco it belongs to a forest mass associated with other tree species such as mahogany and "guázamo" and is located at 350 masl with an average annual precipitation of 2,283.9 mm, 23.4°C and Ferric Luvisol (SPP, 1984a; SPP, 1984b; SMN-CNA, 2010).

Farming labors and annual insecticide application were done, in order to avoid competition with other taxa and to fight *Hypsipyla grandella* Zeller worms (Suárez, 2009).

Los sitios de las poblaciones son diferentes. Así, en Misantla se asocia con cultivos agrícolas y pastizales, principalmente, en linderos y terrenos con pendiente, altitud de 380 m; precipitación media anual de 1,962.2 mm, temperatura de 22.9°C y suelo Luvisol Ferrico. Mientras que, en La Antigua, está dispersa en un área destinada a la ganadería, con suelo Vertisol Crómico, precipitación media anual de 1,226.5 mm, temperatura de 25.6°C y altitud de 20 m. En Catemaco pertenece a una masa boscosa que se asocia con otras especies arbóreas como caoba y guázamo, se ubica a 340 msnm con una precipitación media anual de 2,283.9 mm, una temperatura de 23.4°C y suelo Luvisol Ferrico (SPP, 1984a; SPP, 1984b; SMN-CNA, 2010).

Se realizaron labores de cultivo y aplicación anual de insecticidas, para evitar competencia con otros taxa y combatir el gusano de *Hypsipyla grandella* Zeller (Suárez, 2009).

Las variables fueron las siguientes:

- a) Supervivencia a partir del conteo de los árboles vivos.
- b) Diámetro a la altura del pecho (DAP) en metros. Se midió con una cinta diamétrica Forestry Suppliers® con aproximación al mm.
- c) Altura total en metros. Se estimó con un clinómetro Sunnto®.

Para determinar el contenido de carbono en la biomasa aérea de los árboles evaluados (Ce) primero se transformó el valor del DAP de centímetros a metros. Después, se calculó el volumen de los mismos a través de las siguientes fórmulas (Pardé y Bouchon, 1994; Philip, 1994):

$$V = AB * H * Cf$$

$$AB = \pi/4 * D^2$$

Donde:

- V= Volumen (m³)
- AB = Área Basal (m²)
- $\pi/4$ = Constante 0.7854
- D = Diámetro a la altura del pecho (m)
- H = Altura (m)
- Cf = Coeficiente de forma (0.5)

Posteriormente, se obtuvo la concentración de carbono (Ce) por individuos, familias y procedencias mediante el método propuesto por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 1994) modificado por Mendizábal-Hernández (2007), el cual fue desarrollado para rodales naturales, ya que considera la superficie y el volumen real por hectárea. Este procedimiento se adecuó, para evaluar a las plantaciones experimentales que tenían identificados cada uno de los individuos, de la siguiente manera:

- a) Se calculó la biomasa al multiplicar el volumen en m³ de cada individuo por la densidad de la madera (0.46 g/cm³ según CIRAD, 2009).

These were the following variables:

- a) Survival. It was determined by counting the live trees.
- b) Breast-High Diameter (BHD) (m). It was measured by a Forestry Suppliers® diametric tape with a mm approach.
- c) Total height (m). It was determined with the aid of a Sunnto® clinometer.

To determine the carbon content of the aerial biomass of the assessed trees (Ce), first the value of DBH was transformed from centimeters to meters. Then, their volume was calculated by the following formulae (Pardé and Bouchon, 1994; Philip, 1994):

$$V = AB * H * Cf$$

$$AB = \pi/4 * D^2$$

Where:

- V= Volume (m³)
- AB = Basal area (m²)
- $\pi/4$ = 0.7854 Constant
- D = DBH (m)
- H = Height (m)
- Cf = Form Coefficient of (0.5)

Afterwards, carbon concentration (Ce) per individuals, families and provenances was determined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1994) adjusted by Mendizábal-Hernández (2007), which was planned for natural stands, since it considers the area and real volume per hectare. This procedure was adjusted to assess experimental plantations in which each individual was identified as follows:

- a) Biomass was determined by multiplying the volume (m³) of each individual by wood density (0.46 g cm³ according to CIRAD, 2009).
- b) Ce was determined by biomass product and the carbon content factor (0.45).

Aerial biomass was defined as the dry matter by surface unit contained in tree trunks.

Descriptive statistics and variance analysis were made by means of the GLM of Statistica program (Stat Soft, 1998). The linear model was the following.

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + F(P)_{ij} + B_k + \epsilon_{ijkl}$$

Where:

- Y_{ijkl} = Response to the i-esim provenance, of the j-esim family netted in the i-esim provenance, of the k-esim block
- μ = General mean
- P_i = Effect of the i-esim provenance

- b) Se obtuvo el Ce por el producto de la biomasa y el factor de contenido de carbono (0.45).

La biomasa aérea se definió como la materia seca por unidad de superficie contenida en el tronco de los árboles.

Se realizaron estadísticas descriptivas y análisis de varianza con en el procedimiento GLM de Statistica (Stat Soft, 1998). El modelo lineal utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + F(P)_{ij} + B_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Respuesta de la i-ésima procedencia, de la j-ésima familia anidada en la i-ésima procedencia, del k-ésimo bloque.

μ = Media General.

P_i = Efecto de la i-ésima procedencia.

$F(P)_{ij}$ = Efecto de la j-ésima familia anidada en la i-ésima procedencia.

B_k = Efecto del k-ésimo bloque.

ε_{ijkl} = Error experimental.

De los 480 árboles establecidos se registró 68.75% de supervivencia en el sitio, la procedencia de Misantla tuvo el mayor valor (73.96%), mientras que para los de La Antigua (64.10%) y Catemaco (65.63%) fueron muy similares.

De los 330 árboles que sobrevivieron, se obtuvieron 3,111.07 kg de carbono, 540.77kg de la procedencia de Catemaco, 1,163.83 para La Antigua y 1,406.47 de Misantla. El promedio determinado en cada una fue de 8.58, 9.31 y 9.91 kg, respectivamente, la variación más alta correspondió a Misantla (Figura 1).

$F(P)_{ij}$ = Effect of the j-esim family netted in the i-esim provenance

B_k = Effect of the k-esim block

ε_{ijkl} = Experimental error

Of the 480 established trees, 68.75% survived; in Misantla, the highest value was obtained (73.96%), while for La Antigua (64.10%) and Catemaco (65.63%), the numbers were very similar.

Of the 330 surviving trees, 3,111.07 kg of carbon were obtained, 540.77 kg in Catemaco, 1,163.83 kg in La Antigua and 1,406.47 kg in Misantla. The calculated average in each provenance was of 8.58, 9.31 and 9.91 kg, respectively, and the greatest variation occurred in Misantla (Figure 1).

It was more evident among families. For Catemaco, the third one revealed that more than half of the trees had carbon sequestration values above the average, as well as the sixth, ninth and tenth of La Antigua; in Misantla, all of the families showed 50% or more of its individuals with numbers under the general average (Figure 1).

No significant differences among provenances or families were found (Table 2). However, the observed variation at tree level (Figure 2) states the possibility of making an individual selection to increase carbon sequestration.

Even though the greatest amount of photosynthesis is produced in the oceans (CICC; 2006) a plantation line with efficient organisms in CO₂ sequestration will be better than those whose source is of low vocation. Environmental variation played an important role in regard to the light amount received according to the observed differences among blocks.

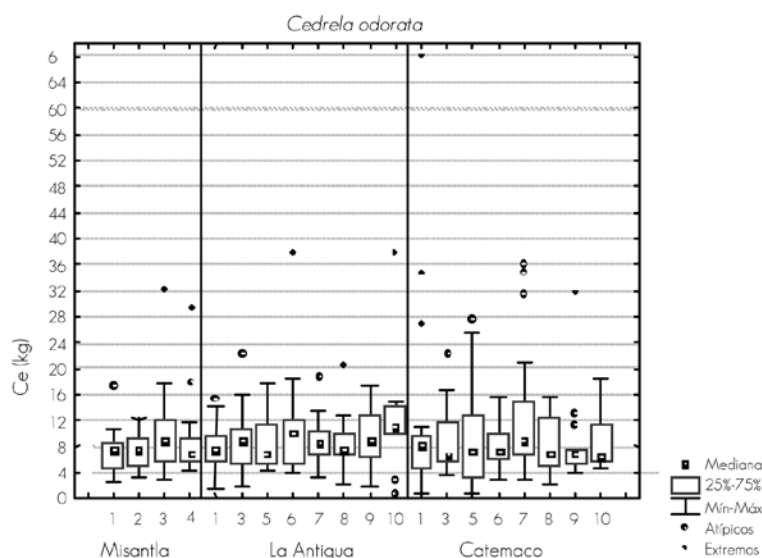


Figura 1. Concentraciones de carbono en biomasa de árboles (Ce) por procedencia.
Figure 1. Carbon concentrations in tree biomass (Ce) by provenance.

Entre las familias fue más evidente. Para Catemaco, la tercera presentó más de la mitad de sus árboles con valores de captura de carbono superiores al promedio, al igual que la sexta, novena y décima de La Antigua; en el caso de la procedencia de Misantla, todas las familias mostraron 50% o más de sus individuos con cifras inferiores a su promedio general (Figura 1).

No se obtuvieron diferencias significativas entre procedencias ni en las familias (Cuadro 2). Sin embargo, la variación observada a nivel de árboles (Figura 2) plantea la posibilidad de realizar una selección individual para incrementar la captura de carbono.

Cuadro 2. Análisis de varianza de la captura de carbono de *Cedrela odorata**.
Table 2. Variance analysis of carbon sequestration of *Cedrela odorata**.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Prueba de F	Probabilidad
Procedencia	2	85.28	42.64	1.1188	0.3279
Familia (Procedencia)	17	741.41	43.61	1.1443	0.3106
Bloque	5	2883.78	576.76	15.1328	0.0000
Error	305	11624.46	38.11		
Total	329	15410.54			

*P<0.05 significativo

*P<0.05 significant

Aunque la mayor cantidad de fotosíntesis se realiza en los océanos (CICC, 2006), una línea de plantaciones con organismos eficientes en la captura de CO₂ será mejor que aquellas cuya fuente sea de baja vocación. La variación ambiental jugó un papel importante con respecto a la cantidad de luz recibida según las diferencias observadas entre bloques.

Al comparar el total de carbono almacenada por la especie, con la obtenida en *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. et Golf. (Mendizábal-Hernández, 2007), en una plantación de edad similar (8 años), *Cedrela odorata* captura una cantidad superior a 77.97%.

Con base en los crecimientos máximos extremos de algunos árboles es posible hacer una selección individual para aumentar la captura de carbono, como se ha observado en otras especies (Márquez y Mendizábal-Hernández, 2006).

Tanto en poblaciones naturales, sin intervenciones fuertes por aprovechamientos selectivos, como en plantaciones las características de crecimiento y desarrollo de sus descendientes están controladas por efectos genéticos, ambientales y de interacción (Eguiluz, 1990). El crecimiento de

After comparing the total stored carbon by species with that obtained from *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. et Golf. (Mendizábal-Hernández, 2007) in a plantation with similar age (8 years), *Cedrela odorata* captures an amount greater than 77.97%.

Based upon the maximum extreme growths of some trees, it is possible to make an individual selection to increase carbon sequestration, as it has been observed in different species (Márquez and Mendizábal-Hernández, 2006).

In natural populations, without intense interventions of selective harvesting, as in plantations with growth and development features proper to their offspring are controlled by genetic, environmental and interaction effects (Eguiluz, 1990). The growth of the offspring has a normal distribution as a result of variation; thus, it is indicative of a selection criterion, that, in this case, guarantees maximum sequestration and storage of CO₂ compared to a more general one. These profits can be increased if another selection scheme is proposed as well as if crossing among offspring of greater advance is accomplished.

The genetic gains that solve production and supply problems with the increment of quality and quantity of a product, as CO₂ sequestration, have been attained in forestry advanced countries as the United States of America and Chile, for example (Zobel and Talbert, 1988), in which success is based upon not only in the selection of the species, but also in its source; however, in spite of these efforts, sources are unknown for most of the taxa in some particular aspects of production; such is the case of Mexico, in which of the 2,500 described tree species (Rzedowski, 1992), only around 30 have been studied in this field, being *Cedrela odorata* one of them.

la descendencia tiene una distribución normal producto de la variación, por lo tanto es indicadora de un criterio de selección, que para este caso garantiza máximos de captura y almacenamiento de CO₂ en comparación con otro más general. Estas ganancias se pueden incrementar si se planea otro esquema de selección y cruza entre la descendencia de mayor avance.

Las ganancias genéticas que resuelven problemas de producción y abasto con el aumento de calidad y cantidad de un producto, como la captura de CO₂, se han logrado en países forestalmente muy adelantados como Estados Unidos y Chile, entre otros (Zobel y Talbert, 1988) cuyo éxito se basa no sólo en la elección de la especie, sino también en la fuente dentro de la misma; sin embargo, a pesar de estos esfuerzos se desconocen las fuentes para la mayoría de los taxa en particularidades de producción, basta señalar que para el caso de México, de las aproximadamente 2,500 especies de árboles identificados (Rzedowski, 1992) se tienen estudiadas en este ámbito no más de 30, *Cedrela odorata* es una de ellas.

La eficiencia de captura de CO₂ de *Cedrela odorata* en esta prueba genética es homogénea para las procedencias y familias evaluadas.

La presencia de árboles con mayor crecimiento permite la selección individual para mejorar la captura de carbono, que puede ser una segunda generación de selección o por vía clonal. 🌿

REFERENCIAS

- Bidwell R., G. S. 1979. Fisiología vegetal. AGT Editor. México, D.F. México. 784 p.
- Cintron B., B. 1990. *Cedrela odorata* L. Cedro hembra, Spanish cedar. In: Burns, Russell M.; and B. H. Honkala, (Eds). Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agriculture Handbook. Number 654. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC. USA. pp 250-257.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC). 2006. Hacia una estrategia nacional de acción climática. SEMARNAT. México, D.F. México. 159 p.
- Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). 2009. Cedro. <http://tropix.cirad.fr/americas/americas.html>. (20 de enero de 2009).
- Cruz V., G. 2009. Estudio de variación de dos pruebas de procedencias/progenie de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) en La Balsa, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 55 p.
- Díaz-Maldonado, E. R. A., R. R. Rivera L. y L. R. Centeno E. 2007. Control de *Hypsipyla grandella* en plantaciones de *Cedrela odorata*. In: Pedraza B., F. E., L. E. A. Avila C., N. Flores R., J. G. Rutiaga Q., M. A. Herrera F. y P. López A. (Eds.) Memorias en extenso: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Morelia, Mich. México. pp 219.
- Eguiluz P., T. 1990. Selección y ganancia genética en bosques naturales vs plantaciones. In: Eguiluz P., T. y A. Plancarte B. (Eds.). Memoria. Mejoramiento genético y plantaciones forestales. Chapingo, Edo. de Méx. México. pp 78-88.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2006. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005 - Hacia la ordenación forestal sostenible. Estudio FAO: Montes 147. Roma. 346 p. <http://www.fao.org/docrep/008/a0400s/a0400s00.htm>. (23 de enero de 2009).
- The CO₂ sequestration efficiency of *Cedrela odorata* in this genetic trial is homogeneous for the tested provenances and families.
- The presence of trees with a greater growth favors individual selection to improve carbon sequestration, which can be a second generation of selection or by clonal channels. 🌿
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2009. Situación de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Roma, Italia. 159 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1994. The supplementary report to the IPCC scientific assessment. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 110 p.
- Márquez R., J. y L. C. Mendizábal-Hernández. 2006. Producción de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y Golf. a los cinco años. Foresta Veracruzana 8 (2): 13-18.
- Medrano, H. y J. Flexas. 2000. Fijación del dióxido de carbono y biosíntesis de fotoasimilados. In: Azcón-Bieto, J y Talón, M. (Coords). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill-Interamericana. Barcelona, España. pp. 173-187.
- Mendizábal-Hernández, L. C. 2007. Almacenamiento de carbono en plantaciones de origen genético conocido en Veracruz, México. Tesis de Doctorado. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. Xalapa Veracruz. 47 p.
- Mendizábal-Hernández, L. C., J. Márquez R., J. Alba-Landa, H. Cruz-Jiménez y E. O. Ramírez-García. 2008. Cambio climático y comunidades forestales. Foresta Veracruzana. 10(2):49-56.
- Mendizábal-Hernández, L. C., J. Alba-Landa y T. Suárez-Dorantes. 2009. Captura de carbono por *Cedrela odorata* L. en una plantación de origen genético conocido. Foresta Veracruzana. 11 (1): 13-18.
- Pardé, J., y J. Bouchon. 1994. Dasometría. Ed. Paraninfo. Madrid, España. 387 p.
- Patiño V., F. 1997. Recursos genéticos de *Swietenia* y *Cedrela* en los neotrópicos: Propuestas para acciones coordinadas. <http://www.fao.org/docrep/006/ad111s/AD111S00.htm> (2 de diciembre de 2008).
- Pennington T., D. y J. Sarukán. 1998. Árboles Tropicales de México. UNAM - Fondo de Cultura Económica. México, D.F. México. 413 p.
- Philip M., S. 1994. Measuring Trees and Forests. CAB International. Cambridge. UK. 310 p.
- Rzedowski, J. 1992. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. In: Halffter G., S. (Comp.). Diversidad biológica de Iberoamérica. Acta Zoológica Mexicana. Volumen especial. pp. 313-335.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2008. Estación Carrizal. CONAGUA-Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/>. (3 de noviembre de 2008).
- Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua. (SMN-CNA). 2010. Normales climatológicas por estación. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/catalogos/catyer.html> (1 de julio de 2010).
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) 1984a. Veracruz E14-3. Carta Edafológica. Esc. 1:250 000 SPP-INEGI. México, D.F. México.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 1984b. Coatzacoalcas E15-1-4. Carta Edafológica. Esc. 1:250 000 SPP-INEGI. México, D.F. México.
- Stat-Soft INC. 1998. Statistica: User Guides. 2325. Tulsa, OK. USA. 148 p.
- Suárez D., T. 2009. Captura de carbono por *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) en dos sitios con diferencias en su manejo localizados en La Balsa, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 54 p.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA-Noriega Eds. México, D.F. México. 545 p.

End of the English version

