

## FLUJOS Y ASIMILACIÓN DE CO<sub>2</sub> DE PINUS DURANGENSIS (MARTÍNEZ M.) EN LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

Eduardo Montes de Oca-Cano\*  
Pedro García-Ramírez\*  
Juan Abel Nájera-Luna\*\*  
Jorge Méndez-González\*\*\*  
José de Jesús Graciano Luna

Recepción: 7 de noviembre de 2008 • Aprobación: 3 de abril de 2009

### RESUMEN:

El objetivo del presente estudio fue ajustar ecuaciones lineales y no lineales para estimar limpieza de aire y asimilación de CO<sub>2</sub>, por componente de hojas, ramas, fuste y total, así como determinar algunos aspectos fisiológicos en la especie de *P. durangensis* a edades de entre tres y doce años, en la región de El Salto, Durango. Los resultados indican que las ecuaciones se ajustan mejor a nivel individual, el componente total muestra los mejores estadísticos de ajuste, mientras que las mayores variaciones se detectan en las ramas y en el fuste. Los resultados encontrados en este estudio demuestran la importancia ecológica y económica que representa la especie *P. durangensis*.

**Palabras claves:** Componentes, ecuaciones, modelos, *Pinus durangensis*.

### ABSTRACT:

The objective of this study was to formulate linear and nonlinear equations to estimate air cleansing and CO<sub>2</sub> assimilation, by component, for leaves, branches, stem and total, as well as to determine some physiological aspects in the species *P. durangensis* from three to twelve years old, in the region of El Salto, Durango. The results indicate that the equations best at the Individual level. The total component shows the best statistical performance, whereas the greatest variations are found in the branch and stem components. The results found in this study demonstrate the ecological and economic importance of the species *P. durangensis*.

**Key words:** Components, equations, models, *Pinus durangensis*.

---

\* Tesiarios de la Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable. Instituto Tecnológico de El Salto, Durango. México [montesdeoca\_cano@hotmail.com].

\*\* Profesor Investigador Instituto Tecnológico de El Salto, El Salto, Durango, México.

\*\*\* Profesor Investigador, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.

## Introducción

En los últimos 150 años, el nivel de concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a tenido un aumento significativo, cerca de un 20% de las emisiones de este gas de efecto invernadero, resultan de la eliminación y degradación de los ecosistemas (Schlegel, 2001).

Algunos modelos de CO<sub>2</sub> incluyen la estimación del incremento y rendimiento en volumen como el atributo principal de la biomasa y algunos de sus componentes o parámetros relacionados para establecer los flujos de este gas entre la vegetación, el suelo y la atmósfera (Makela, 1997; Mohren, 1994 citado por Nívar *et al.*, 2001). También se están usando para observar el efecto de la vegetación en el ciclo global de CO<sub>2</sub> (Brown, 1997). Dentro de la filosofía, Paulo *et al.*, (2002 citado por Pascoa *et al.*, s/f), afirma que para estimación de la biomasa forestal existe un enorme interés científico, siendo necesario cuantificar, ajustar y elaborar modelos matemáticos que sirvan como predicción de la biomasa. Muchas de estas investigaciones se han realizado en bosques tropicales y semiáridos (Nájera, 1999), pero muy pocas se han dirigido a ecosistemas templados. Así mismo, dichas investigaciones se han encaminado a conocer las cantidades de CO<sub>2</sub> fijadas en la biomasa total pero muy pocas se enfocan en hojas, ramas y fuste.

La justificación de este trabajo, radica en considerar la realización de este tipo de estudios en bosque de climas templados que representan gran parte de la superficie forestal del país.

Por lo anterior el presente estudio tiene como objetivo estimar los flujos, asimilación (intercambio gaseoso) y/o fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico, del ambiente a

la planta, en la regeneración natural de *Pinus durangensis* de la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

## Materiales y métodos

### Características del Área de Estudio

El área donde se llevó a cabo en la región de El Salto Durango, inmerso en el Ejido denominado San Esteban y Anexos, se localiza en el macizo montañoso denominado Sierra Madre Occidental dentro del Municipio de Pueblo Nuevo, al suroeste del Estado, su lugar de acceso es por la carretera Durango-Mazatlán en el Km. 101.

### Tamaño de la muestra

El número de árboles que se tomaron de muestra para el análisis de intercambio de gases se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1**  
Número de árboles seleccionados en las áreas de estudio

Tipo de Muestra	No. de árboles	Especie
Datos de intercambio de gases	72	<i>Pinus durangensis</i>
Total	72	

### Variables medidas a los individuos seleccionados en el área de estudio de intercambio de gases

Las variables del sitio que fueron evaluadas como escenario del experimento fueron: especie dominante, área basal, altura media, diámetro promedio, cobertura de copas, fuste comercial. Dentro de las variables físicas que se monitorearon

fueron la radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

#### *Radiación solar*

Este fue monitoreado por medio de un Actinógrafo de Robitzsch, aparato que mide tanto la radiación solar directa como la difusa. Consta de cuatro láminas bimetálicas (sensores), dos de ellas blancas y dos centrales ennegrecidas, la luz solar que incide sobre los sensores es absorbida y reflejada por estas placas lo que provoca diferencias de temperatura y dilatación. Su exactitud es aproximadamente de 5 % y su sensibilidad es de 0.05 cal cm<sup>2</sup> min<sup>-1</sup> (Torres, 1995).

#### *Temperatura*

Los procesos fisiológicos que se efectúan dentro de una planta, como la fotosíntesis, respiración y el crecimiento, tienen diferentes respuestas a la temperatura (Torres, 1995). La temperatura fue monitoreada a través de un termómetro de mercurio y un higrotermómetro cuyas lecturas se tomaron al momento de monitorear los procesos fisiológicos de *Pinus durangensis* (PAR, Transpiración, temperatura de la hoja etc., mediante el TPS-1 (medidor de intercambio de gases).

#### *Humedad relativa*

La humedad relativa fue monitoreada por medio de un higrógrafo, el cual consta de un índice que mueve una escala y se halla en equilibrio bajo la acción de un pequeño peso y la fuerza elástica por el haz de cabello, posee un rango de medición desde 0-100 %. La medición de la humedad se basa en el principio del alargamiento de un cuerpo higroscópico (generalmente cabello humano) en el

cual las células se encuentran juntas, pero cuando el aire está húmedo, los espacios intercelulares y las células mismas absorben vapor de agua y el cabello aumenta de longitud (Gómez y Artega, 1987). Lecturas de humedad relativa fueron tomadas también mediante un higrotermómetro digital.

#### *Viento*

Es una de las variables que a nivel del suelo tienen más variabilidad. Este fue medido con un anemómetro de cazoletas. Se compone de tres brazos horizontales, conteniendo cada uno una cazoleta, éstos se hallan fijos sobre un eje vertical. El impulso de viento es detectado por las cazoletas, los que por medio de engranes y un contador de vueltas, van registrando el recorrido del viento en su contador de Km. y m. (Gómez y Artega, 1987). Paralelamente a esto se utilizó un anemómetro digital para comparar ambas lecturas.

#### *Medidor del Flujo de CO<sub>2</sub>*

El equipo TPS-1 es una unidad completamente autónoma para medir la asimilación del CO<sub>2</sub> y la transpiración de las hojas de las plantas. Opera bajo el principio de "Sistema Abierto", la hoja se coloca en un entorno sellado con una ventana para la iluminación, a través de la cámara se pasa un flujo moderado de aire. Las mediciones que se hicieron se basaron en la diferencia que hay entre las concentraciones de CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O del aire que entra y las del aire que sale. Sin embargo esta diseñado para proporcionar aire del ambiente a la cámara, para el estudio de respuestas de CO<sub>2</sub>, esto hace posible disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> en una serie de pasos.

### *Análisis de los principios de medición del $CO_2/H_2O$*

El dióxido de carbono absorbe radiación infrarroja fuertemente a una longitud de onda de 4.26 micrones. El equipo TPS-1 emplea esta absorción para medir la concentración del  $CO_2$ . El analizador consiste de una fuente de radiación infrarroja (una lámpara de filamento de tungsteno pequeña) colocada a un extremo de una superficie pulida, con un tubo dorado plateado, a través del cual pasa el aire. En el otro extremo del tubo se encuentra el detector infrarrojo que tiene una ventana a través del cual solamente pasa la radiación infrarroja a 4.26 micras y que solamente responde en presencia de  $CO_2$ . El rango del análisis teórico es de 0-100 % de  $CO_2$ . Sin embargo, debido a las características de absorción de los gases, su rango eficaz es debido por la absorción en el paso de las longitudes, la intensidad de la fuente infrarroja, el detector de sensibilidad y el rango o radio de S/N (señal de ruido) del sistema. Se optimiza el paso de la longitud de la absorción del TPS-1 a 2,000 volúmenes o partes de  $CO_2$  por un millón de volúmenes o partes de aire. Esto está correctamente llamado 2000 partes por millón por volumen o 2000 ppm. El aire ambiental (el aire que nosotros respiramos) contiene aproximadamente 360 ppm.

El vapor de agua fue medido empleando un sensor capacitivo. Esto consiste en una pequeña pieza de vidrio cubierto primero con una capa de metal, luego con un polímetro, seguido por una segunda capa de metal. Se sueldan alambres a las capas de metal y el sensor se coloca en un circuito que mide su capacitancia eléctrica. La cantidad de agua en el polímetro depende del vapor de agua contenida en

el aire y la capacitancia eléctrica depende del polímero contenido en el agua. Así con la calibración, el agua contenida en el aire puede ser medida. La concentración del vapor de agua es expresada de nuevo como una relación volumen-volumen pero en partes por mil que se denomina millibars (mb).

Ambas mediciones del  $CO_2$  y  $H_2O$  dan concentraciones absolutas para el aire de referencia, y por lo tanto, la diferencia entre la concentración de referencia y la concentración del análisis.

### *Estimación del dióxido de carbono ( $CO_2$ ) asimilado*

El dióxido de carbono ( $CO_2$ ) se determinó por medio de aplicaciones matemáticas sencillas (utilizado por Díaz y Molano, s/f), partiendo del peso del carbono presente en cada compartimiento de la biomasa seca y multiplicándolo por la relación existente entre el peso total de la molécula de ( $CO_2$ ) (44) y el átomo de Carbono (12).

### *Estimación de la limpia de aire por componente de *P. durangensis**

Para la determinación de carbono que limpia en el aire cada componente de la regeneración natural de *Pinus durangensis*, se procedió a dividir la cantidad de carbono contenida en él por el equivalente al peso del carbono en un  $m^3$  de aire (captura de carbono s/f).

### *Criterios de selección de modelos*

Los criterios utilizados para determinar el mejor modelo fueron la  $R^2$ , el error estándar, coeficiente de variación, sesgo,

F calculada, así como la probabilidad del modelo y de los parámetros de regresión. Otro criterio tomado en cuenta fue la sencillez del modelo y número de variables consideradas.

#### Análisis de variables derivadas del TPS-1

Se analizaron las variables derivadas del medidor de intercambio de gases tales como CO<sub>2</sub>, PAR, transpiración, temperatura de la hoja, conductancia estomatal entre otros así como variables climáticas tales como temperatura del ambiente, humedad, velocidad del viento, etc. Los resultados se agruparon por fechas de evaluación y se sometieron a análisis de componentes principales.

## Resultados

Limpia de aire (m<sup>3</sup>) en la atmósfera por componentes en *Pinus durangensis*.

Los modelos utilizados y los parámetros para estimar la limpia de aire por componente se observa en el cuadro 2, los ajustes son proporcionales a los ajustes originales.

En la figura 1 se muestra la cantidad de aire atmosférico que limpia (m<sup>3</sup>) cada componente de la regeneración natural de *Pinus durangensis* de la región de El Salto, Dgo., según el primer modelo de cada componente del cuadro anterior.

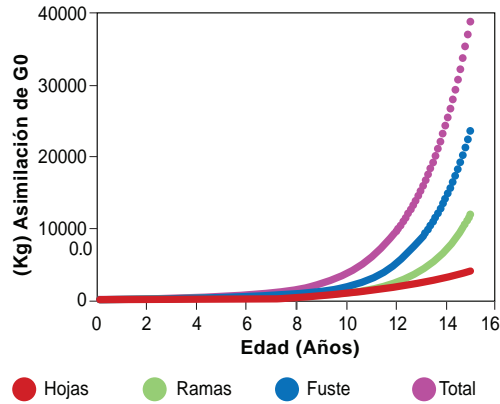
La figura anterior muestra que el incremento más importante se da a partir de la edad de 10 años, que es donde

**Cuadro 2**  
**Modelos y estadísticos de ajuste para la estimación de la limpia de aire (m<sup>3</sup>) en la atmósfera por la regeneración natural de *Pinus durangensis* de la región de El Salto, Durango**

V	ECUACIONES	R <sup>2</sup>	Sx	C.V.	Modelo
LAH	$y=(32866.8)*(\exp(-\exp(-(-0.0981758)*(x-(22.4184))))))$	73.103	326.51	58.15	Gompertz Logístico de cuatro parám.
	$y=(-107.9014)+((85.16743)-(-107.9014))/((1+(2.482876))*\exp(-((0.307149)*x)))$	73.095	326.56	58.16	
LAR	$y=\exp((0.538274)*(x-(-2.4413)))$	73.095	321.46	77.59	Exponencial de dos parám. Logístico de cuatro parám.
	$y=(22.53037)+((47.9222)-(22.53037))/((1+(7.73147))*\exp(-((0.5588117)*x)))$	73.133	326.06	78.70	
LAF	$y=\exp((0.506882)*(x-(-4.858024)))$	63.775	878.22	95.97	Exponencial de dos parám. Logístico de cuatro parám.
	$y=(33.31784)+((119.0483)-(33.31784))/((1+(7.47509))*\exp(-((0.5191785)*x)))$	63.789	891.25	97.40	
LAAC	$y=\exp((0.465263)*(x-(-7.70235)))$	75.290	1270.69	65.95	Exponencial de dos parám. Exponencial de Tres parám.
	$y=(-20.8523)*\exp(-(-0.4674597)*x)+(36.1072)*\exp(-(-0.4650057)*x)$	75.291	1289.79	66.94	

Donde: V = Variable; LAH, LAR, LAF, LAAC = Limpia de aire por hojas, por las ramas, por el fuste y por el árbol completo, respectivamente; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; Sx = Error típico y C.V. = Coeficiente de variación.

**Figura 1**  
**Limpia de aire (m<sup>3</sup>) en la atmósfera de cada componente en la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango**



se registra una limpia de aire en forma exponencial por casi todos los componentes con excepción de las hojas, donde tiende a permanecer mas o menos constante, aunque este efecto es debido también al comportamiento del modelo.

En términos cuantitativos se observa que a la edad de 3 años la regeneración natural de *Pinus durangensis* limpia un promedio total de 121.190 m<sup>3</sup> en la atmósfera, el cual 56.463 m<sup>3</sup> lo limpia las hojas, 49.483 m<sup>3</sup> lo limpia el fuste, y 45.842 m<sup>3</sup> lo limpia las ramas, podemos concluir que a la edad de tres años el que mas limpia (m<sup>3</sup>) la atmósfera es la hoja.

Del promedio total de 10,318.67 m<sup>3</sup> que limpia un árbol de regeneración

**Cuadro 3**  
**Ecuaciones para estimar la asimilación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango**

V	ECUACIONES	R <sup>2</sup>	Sx	C.V.	Modelos
CO2H	$y = (25.91803) * (\exp(-\exp(-(0.093158) * (x - (23.69137))))))$ $y = ((0.0433565) + ((0.0867433) * x))^{(1 / (0.290116))}$	73.104	0.2121	58.1564	Gompertz Logístico de cuatro parám.
CO2R	$y = \exp((-0.0017726) * (x - (-742.3336)))$ $y = (-0.0705304) + ((-0.0559355) - (-0.0705304)) / ((1 + (1.021615)) * \exp(-((0.4467163) * x)))$	73.094	2.0882	775.9928	Exponencial de dos parám. Logístico de cuatro parám.
CO2F	$y = \exp((-0.000251) * (x - (-1954.37)))$ $y = (0.0216405) + ((0.0754975) - (0.0216405)) / ((1 + (7.19606)) * \exp(-((0.5191773) * x)))$	63.775	5.7048	923.4083	Exponencial de dos parám. Logístico de cuatro parám.
CO2T	$y = \exp((0.4652667) * (x - (8.071896)))$ $y = (2.32187) * \exp(-(-0.411144) * x) + (-2.30253) * \exp(-(-0.4102235) * x)$	75.290	0.8254	65.9447	Exponencial de dos parám. Exponencial de cuatro parám.

Donde V = Variable; CO2H, CO2R, CO2F, CO2T= Asimilación de dióxido de carbono por hojas, ramas, fuste y total respectivamente; R<sup>2</sup>= Coeficiente de determinación; Sx = Error típico y C.V. = Coeficiente de variación.

natural de *Pinus durangensis* a la edad de 12 años, 5,369.51 m<sup>3</sup> lo limpia el fuste, 2,704.80 las ramas y solo 2,244.35 las hojas.

Asimilación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por componentes en *Pinus durangensis*.

De la misma forma, de los modelos utilizados para estimar incrementos de carbono en hojas, ramas, fuste y total, se seleccionaron dos de los mejores, mismos que se usaron para estimar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asimilado por cada componente (hojas, ramas, fuste y total) de *Pinus durangensis* de la región de El Salto, Durango.

Los parámetros y estadísticos de ajuste para la estimar la asimilación de (CO<sub>2</sub>) por componente se muestra en el cuadro siguiente.

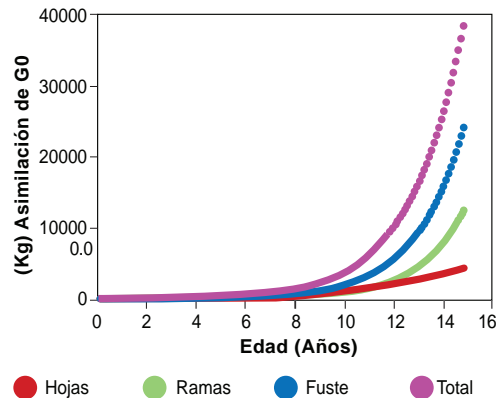
Los estadísticos de ajuste son proporcionales a los estadísticos originales (cuadro 3), por lo que la proporción de varianza explicada por cada modelo será muy igual o similar a los estimados originalmente.

En la figura 2 se muestra la asimilación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en Kg., por cada uno de los diferentes componentes (hojas, ramas, fuste y total) de la regeneración natural de *Pinus durangensis*.

De acuerdo al cambio que se detecta en la edad se obtuvo el promedio de asimilación de CO<sub>2</sub> en la regeneración natural de *Pinus durangensis*.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) total que asimila la regeneración natural de *Pinus durangensis* a la edad de 3 años es de 0.0787 Kg., donde 0.0365 Kg. lo asimilan las hojas, 0.0103 Kg. las ramas y 0.0319 Kg. el fuste. El cambio de asimilación (debido a la proporción de biomasa) se da a la edad de 6 años donde el fuste asimila el 0.1315 Kg., las hojas 0.0559 Kg.

**Figura 2**  
Asimilación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la hojas, ramas, fuste y total en la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango



y las ramas 0.0652 Kg. de un promedio total de 0.3011 Kg.

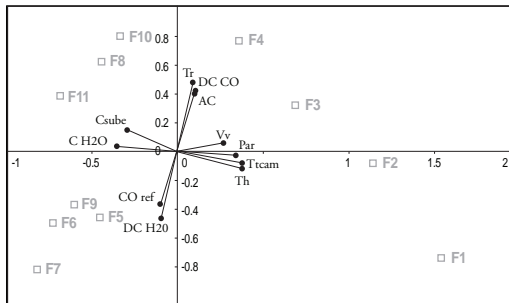
A la edad de 12 años el promedio total de asimilación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es de 6.70 Kg. en donde 3.48 Kg. de CO<sub>2</sub> lo asimila el fuste, 1.75 Kg. las ramas y 1.45 Kg. las hojas.

#### Análisis de parámetros determinados por el TPS-1.

Los parámetros registrados por el analizador de gases se sometieron a un análisis de componentes principales para detectar posibles agrupamientos, así como identificar la relación que guarda un parámetro en relación a otro y su relación a las variables climáticas evaluadas.

Los componentes principales (PCA) realizados indican que la conductancia estomatal (C<sub>sube</sub>) en *Pinus durangensis* está en estrecha correlación con la temperatura ambiental aunque no como se esperaba ya que la dependencia se muestra inversa al incremento de temperatura (Figura anterior). Las fechas con las que

**Figura 3**  
**Análisis de componentes principales a los**  
**parámetros arrojados por el TPS1 en la**  
**especie *Pinus durangensis***



Simbología: CO ref= Concentración de CO<sub>2</sub> de referencia (entrada); DC CO= Diferencia de Concentración de CO<sub>2</sub>; Par= Radiación Fotosintéticamente Activa; C H<sub>2</sub>O= Concentración de H<sub>2</sub>O; DC H<sub>2</sub>O= Diferencia de Concentración de H<sub>2</sub>O; T cam= Temperatura de la cámara (oC); Tr= Transpiración; Csube= Conductancia subestomatica; Th= Temperatura interna de la hoja (oC); AC= Asimilación calculada; Ta= Temperatura del higrotermómetro; Tt= temperatura del termómetro (oC); Vv= Velocidad del viento (m/seg).

se relaciona la conductancia estomatal son las que muestran temperaturas más bajas (F8, F10 y F11). Sin embargo este mismo parámetro se incrementa al incrementarse la concentración de vapor de agua (C H<sub>2</sub>O). Lo anterior se traduce en que la apertura de los estomas no obedece exclusivamente a la temperatura ambiental sino que puede deberse a otros factores ambientales tales como la humedad relativa o la presión de vapor atmosférico. Así mismo (Jones, 1983) menciona que las temperaturas elevadas (30 a 35 °C) por lo común provocan el cierre de estomas, lo cual se traduce en una disminución en la tasa de intercambio de CO<sub>2</sub> de la atmósfera con la planta con la consecuente acumulación de CO<sub>2</sub> en el interior de la hoja.

La transpiración juega un papel importante en el proceso de apertura de estomas, los resultados muestran una relación negativa a la concentración de CO<sub>2</sub> de referencia; esto es la transpiración se incrementa cuando la concentración de CO<sub>2</sub> del ambiente disminuye. En este mismo contexto se observa que la transpiración se correlaciona positivamente con la diferencia de concentración de CO<sub>2</sub> entre el ambiente y el TPS1 (DC CO), así como la asimilación calculada por el aparato TPS1 (AC). Esto puede ser el resultado planteado por (Salisbury & Ross, 1994) donde establecen que en algunas especies, temperaturas ambientales elevadas provocan la apertura de los estomas en vez de su cierre, conduciendo con esto al aumento en la transpiración como lo sugieren los análisis de PCA.

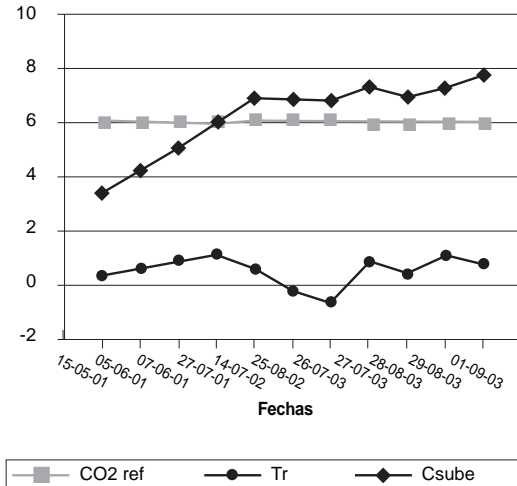
Los componentes principales indican un claro agrupamiento de las variables climáticas analizadas, donde poca dependencia se observa a la transpiración, o asimilación calculada, no así a la conductancia estomatal. Por el contrario los parámetros analizados por el TPS1 muestran dependencia clara a las fechas evaluadas donde las condiciones de temperatura, velocidad del viento y humedad relativa son diferentes.

La figura 4 muestra el comportamiento de algunos de los parámetros analizados por el TPS1 donde se observa que la transpiración sigue un comportamiento similar a la temperatura ambiente y de la hoja a partir de la fecha (F4).

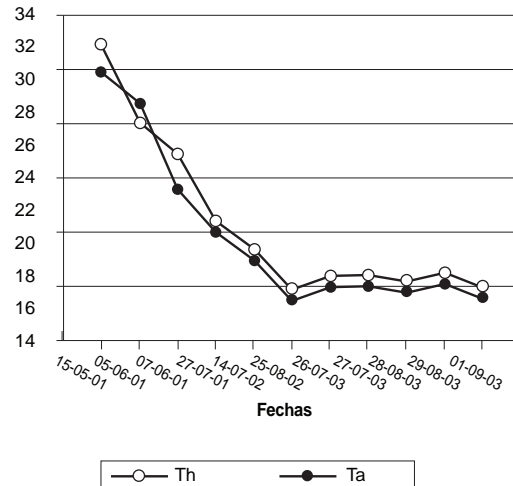
Por otro lado, la concentración de CO<sub>2</sub> de referencia se mantiene más o menos constante durante el periodo de estudio, al parecer poca influencia se detecta en este parámetro por la función de los bosques en el intercambio gaseoso durante las estaciones de crecimiento. El



**Figura 4**  
Comportamiento de parámetros analizados por TPS1 durante el periodo de estudio



**Figura 5**  
Comportamiento de temperatura de la hoja y ambiental durante el periodo de estudio



promedio de este parámetro entre fechas fue de 397.59 ppm.

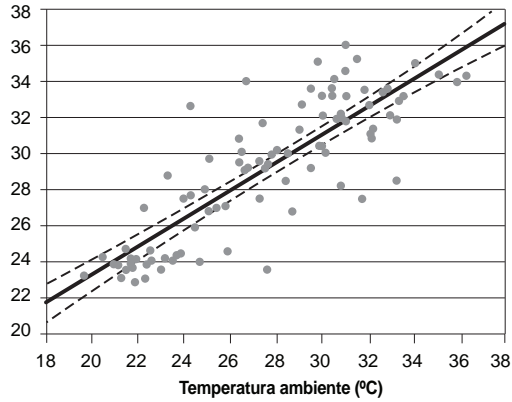
La transpiración sigue el comportamiento mostrado por el análisis de componentes principales, tiende a la disminución con la temperatura ambiental, aunque como se ha mencionado anteriormente, no depende exclusivamente de este parámetro sino de otros tales como la radiación solar, la conductancia estomatal, humedad del ambiente y características físicas y biológicas propias de la especie entre otras.

La temperatura interna de la hoja y ambiental muestran un comportamiento muy similar entre fechas (figura anterior) incluso puede ser estimada una en función de la otra. Dentro de este contexto, la temperatura interna de la hoja de *Pinus durangensis* se estimó mediante regresión lineal simple utilizando la temperatura ambiental como variable independiente, medida mediante higrómetro digital. Aunque este parámetro se correlaciona en poco grado (básicamente con

la conductancia estomatal) según análisis de componentes principales. Sin embargo este parámetro resulta importante para otros procesos fisiológicos propios de la especie tales como la germinación, fotosíntesis, respiración y crecimiento de la hoja responden sensiblemente a la temperatura ambiente (Ong, 1983).

Los resultados muestran que existe una relación lineal positiva entre estas dos variables; es decir que al incrementarse una, la otra también lo hace, así mismo se observa que la temperatura interna de la hoja es un poco mayor que la temperatura ambiental y lo hace a una tasa de cambio de 0.78 (°C) por cada (°C) de temperatura del ambiente. El análisis de regresión muestra buen ajuste para estimar la temperatura interna de la hoja mediante la temperatura ambiental existiendo un coeficiente de determinación ajustado de 0.7077 y un error de 2.08 (°C). Los estadísticos de ajuste y parámetros de los modelos se muestran en el cuadro siguiente.

**Figura 6**  
**Relación entre temperatura interna de la hoja y temperatura ambiente**



## Conclusiones

La limpieza de aire y la asimilación de  $\text{CO}_2$ , por los componentes hojas, ramas, fuste y total puede ser modelado mediante funciones de crecimiento en la especie *Pinus durangensis*. Los resultados indican que los mejores ajustes se muestran al incluir todo el árbol completo (suma de todos los componentes) seguido por hojas, ramas y finalmente el fuste. Los modelos Gompertz y Logístico de cuatro parámetros utilizados para estimar limpieza de aire en la atmósfera en hojas, ramas y fuste, no presentaron los mejores resultados, el mejor modelo de estos modelos

fue el de Gompertz para el componente hojas por presentar un menor error típico (326.51) y una mayor  $R^2$  (73.103), mientras para estimar limpieza de aire en la atmósfera en los componentes ramas y fuste, se pueden utilizar cualquiera de los modelos propuestos por presentar los estadísticos similares. El modelo logístico de cuatro parámetros presentó el mejor ajuste en el componente ramas y fuste por mostrar un menor error típico (78.7097) y una mayor  $R^2$  (73.133) y un menor error típico (0.5789) y una mayor  $R^2$  (63.789) respectivamente. Para estimar la asimilación del dióxido de carbono en el árbol total, se puede utilizar los dos modelos propuestos por presentar los estadísticos muy similares.

Los análisis de componentes principales indican una buena relación entre la conductancia estomatal y la temperatura ambiente. Existe una clara relación entre variables climáticas evaluadas pero no de estas a los parámetros y/o variables fisiológicas de la especie *P. durangensis*.

La temperatura interna de la hoja puede ser estimada mediante la temperatura ambiental. El mejor ajuste se obtiene al medir la temperatura ambiente con termómetros digitales, disminuyendo este ajuste al medir la temperatura ambiente con termómetro de mercurio.

**Cuadro 4**  
**Parámetros y estadísticos para estimar la temperatura interna de la hoja**

Modelo	n	a	B	Sx	$R^2$	Pr > F
Th = a+bTa	90	7.6414	0.7804	2.0838	0.7077	0.0001

Donde: Th = Temperatura de la hoja; a y b = Parámetros de la regresión; Ta= Temperatura del ambiente; n = Número de observaciones; Sx = Error típico;  $R^2$  = Coeficiente de determinación.

## Literatura citada

- Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. IN *Acta del XI Congreso Mundial Forestal: Recursos forestales y Arbores*. Vol. 1 Antalya Turkia 13.22 October of 1997.
- Gomez, M. S.B., y R.R. Arteaga. 1987. *Elemento básico para el manejo de instrumental meteorológico*. Ed. Continental, S.A. de C.V. México. D.F.
- Jones, H.G. 1983. *Plants and microclimate*. Cambridge University Press.
- Nájera L. J.A., 1999. *Ecuaciones para estimar Biomasa, Volumen y Crecimiento en Biomasa y Captura de Carbono en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México*. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. N.L. Mex.
- Navar, J., González, N., y Graciano J. 2001. Ecuaciones para estimar el rendimiento e incremento en biomasa total en plantaciones de Durango, México. *Simposio Internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. Valdivia, Chile.
- Ong, C.K. 1983. Response to temperature in a stand of Pearl millet (*Pennisetum typhoides*) 1. Vegetative development. *J. Exp. Bot.* 34: 322-336.
- Pascoa, F., Martins, F., González, R. S. y Joao, C. (sin fecha). Establecimiento simultáneo de ecuaciones de biomasa para *Pinheiro bravo*.
- Torres R. E., 1995. *Agrometeorología*. Ed. Trillas, S.A. de C.V. México D.F. UAAAN. 26-28 p.
- Salisbury F.B. & C.W. Ross. 1994. *Fisiología vegetal*. Gpo. Ed. Iberoamerica S.A. de C.V. Mex. D.F.
- Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosque del tipo forestal siempreverde. En el sur de Chile. *Simposio Internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. Valdivia, Chile.

