EL EFECTO DEL MICROAMBIENTE EN LA CONDUCTIVIDAD ESTOMÁTICA DE *BUDDLEIA CORDATA* H.B.K., EN LA RESERVA DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL

ALFREDO RAMOS-VÁZQUEZ Y VÍCTOR L. BARRADAS

Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-275, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F., México.

Resumen. La estacionalidad de la precipitación y el sustrato en el Pedregal de San Angel deben jugar un papel importante en el estado hídrico de las plantas que en él habitan. Por lo tanto, se realizaron mediciones de conductividad estomática (g), potencial hídrico foliar (Ψ_h), densidad de flujo fotónico fotosintético (Q), temperatura del aire (T_a) y la diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV) en *Buddleia cordata* H.B.K., por ser una especie perennifolia y dominante del estrato arbóreo. Las mediciones se llevaron a cabo durante las estaciones seca y húmeda en el Pedregal de San Angel que es una comunidad que se desarrolla en un sustrato de lava. Las conductividades que se registraron fueron de hasta 330 mmol m⁻² s⁻¹ durante la época húmeda, mientras que en la época seca se redujeron hasta cerca de un 54%. Se realizaron dos tipos de análisis, el de la curva envolvente y el de regresión múltiple. Ambos análisis mostraron un efecto significativo de Q , T_a y DPV sobre g tanto en cada una de las épocas como anualmente y los estomas fueron más sensibles a estas variables en la época húmeda que en la seca. El efecto de Ψ_h no fue significativo en los análisis por época, pero sí en un análisis anual. Los resultados de este tipo de análisis pueden ser una herramienta muy efectiva en la formulación de modelos matemáticos que simulen o pronostiquen la conductividad estomática.

Palabras clave: *Buddleia cordata*, conductividad estomática, modelos matemáticos, Pedregal de San Angel, potencial hídrico.

Abstract. Precipitation seasonality and substratum in Pedregal de San Angel can play a key role on plant water status. Therefore, stomatal conductance (g), water potential (Ψ_h), photosynthetically photon flux density (Q), air temperature (T_a) and leaf-air vapour pressure difference (VPD), were measured on leaves of *Buddleia cordata* H.B.K., because its perennial character and its dominance in the Pedregal. These measurements were carried out during the wet and dry seasons in the Pedregal which is a plant community developing in a lava substratum. The highest values of stomatal conductance were registered in the wet season (330 mmol m⁻² s⁻¹), however during the dry season, stomatal conductance was reduced by 54%. Upper limit enveloping curve technique and multiple regression analysis were performed to the data in order to study how g responded to the microenvironment and Ψ_h . Results clearly showed that there was a significant effect of Q , T_a and VPD on g and stomata were more sensitive on humid season than during dry season. Ψ_h effect was not significant during the humid season, nor the dry season, but annually. Results from these kind of analysis may be very useful during the formulation of mathematics models to simulate or predict stomatal conductance.

Key words: *Buddleia cordata*, stomatal conductance, mathematics models, Pedregal de San Angel, water potential.

El agua en el Pedregal de San Angel puede jugar un papel muy importante en la sobrevivencia de las diversas especies vegetales que ahí habitan. Este papel no solo es debido a la marcada distribución anual de la precipitación, sino también al tipo de sustrato preponderante que no permite un gran

almacenamiento de agua. Por lo tanto es importante conocer los posibles mecanismos que las especies vegetales presentan en este sitio para aprovechar el agua. Esta comunidad vegetal presenta un estrato herbáceo bien desarrollado, un arbustivo ligeramente menos importante y pocas especies arbóreas, repre-

sentadas principalmente por el género *Buddleia* (Rzedowski, 1986). Actualmente hay registradas 301 especies de 61 familias (Valiente-Banuet y de Luna García, 1990) agrupadas en cuatro formas de vida: perennifolias, caducifolias, bianuales y anuales. *Buddleia cordata* H.B.K. además de ser una de las especies dominantes del Pedregal de San Angel, es también una especie perennifolia. A diferencia de las otras formas de vida, *B. cordata* debe presentar respuestas diferentes estacionales de control de aprovechamiento del agua, ya que esta especie aparentemente enfrenta la sequía.

El movimiento estomático es uno de los principales factores que controlan el estado hídrico de las plantas y juega un papel determinante tanto en el uso del agua como en la fotosíntesis y la productividad vegetal. La conductividad estomática (g) que es una medida de la velocidad con que el vapor de agua y/o el bióxido de carbono se difunden desde y hacia la cavidad subestomática, respectivamente, está determinada principalmente por la apertura estomática (Jones y Higgs, 1989). Por otro lado, es bien conocido que los factores del microambiente tales como la densidad de flujo fotónico fotosintético, la temperatura y humedad del aire, la disponibilidad del agua en el suelo para la planta, etc., afectan el movimiento estomático y en consecuencia a g [e.g. Jarvis (1976), Fanjul y Barradas (1985) Jones (1992) y Pitman (1996)]. Por esta razón, existe un gran interés por analizar el efecto que produce cada uno de estos factores en g . Con estos análisis es posible construir modelos matemáticos que permiten predecir g y sus variaciones como una función de los factores microambientales (Jarvis, 1976; Jones y Higgs, 1989).

Los análisis de comportamiento estomático, se basan principalmente en que la respuesta de estado-estable de g depende de factores microambientales o ecofisiológicos tales como la densidad de flujo fotónico fotosintético (Q), la temperatura del aire (T_a), el déficit de presión de vapor (DPV) y la disponibilidad de agua en el suelo para la planta. Esta última variable se evalúa determinando el potencial hídrico del suelo (Ψ_s), o de la hoja (Ψ_h) que es proporcional al estado hídrico de la planta y éste a su vez del estado hídrico del suelo (Stalfelt, 1955; Meidner y Mansfield, 1968; Lange *et al.*, 1971; Jarvis 1976; Fanjul y Barradas, 1985; Roberts *et al.*, 1990; Pitman, 1996).

La respuesta de g a cada uno de los factores ecofisiológicos e.g. Q , es aparentemente clara cuando los otros factores involucrados en el proceso (T_a , DPV y Ψ_h) son eficientemente controlados, manteniéndolos constantes. Al relacionar g con cualquiera de estos factores, es posible obtener una función matemática empírica. Estas funciones se han calculado utilizan-

do la técnica de mínimos cuadrados y seleccionando el mejor ajuste (Jones, 1992).

Sin embargo, en condiciones naturales o no controladas, existe una mayor dispersión de g cuando se grafica contra cualquiera de las variables enumeradas. Esta dispersión torna muy difícil la interpretación de la respuesta de g a los factores ecofisiológicos. De esta manera, la conductividad estomática resultante está determinada por todas estas variables que actúan en forma colectiva.

En este trabajo se presenta un análisis para determinar el efecto de cada uno de los factores ecofisiológicos en la conductividad estomática del árbol *Buddleia cordata* H.B.K. (Loganiaceae), en condiciones no controladas en el campo, usando datos generados con un porómetro de estado-estable.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó en la reserva biológica de la Universidad Nacional Autónoma de México "Pedregal de San Angel" (19° 19' N, 99° 11' W, 2300 msnm), que es una área suburbana de 124 ha en el sur de la ciudad de México. La vegetación es un matorral xerófilo en un sustrato rocoso formado por una gruesa capa de lava que fue depositada por la erupción del volcán Xitle hace aproximadamente 2500 años (Rzedowski, 1954). Los suelos son someros y pobremente desarrollados.

La precipitación pluvial promedio anual en el Pedregal es de 803 mm (media de 21 años) y casi el 93% de ésta se presenta durante la estación lluviosa (mayo-octubre). Las temperaturas extremas se registran en abril (29.5 °C) y enero (-1.1 °C). Los vientos son ligeros y predominantemente del noreste (Sánchez-Huerta, 1990).

Para llevar a cabo las mediciones de conductividad estomática se escogieron tres sitios planos con dos árboles de *Buddleia cordata* H.B.K. (Loganiaceae) separados no más de diez metros. La conductividad estomática se midió en cinco hojas maduras seleccionadas al azar de cada individuo con un porómetro de difusión de estado-estable (LI-1600, LI-COR, Ltd., Lincoln, Nebraska, EUA). Las mediciones se realizaron en el envés de la hoja ya que éstas son hipostomatosas. Las mediciones se realizaron cada hora desde las 08:00 hasta las 17:00 hora local, durante la época seca (enero-mayo) y de lluvias (junio-octubre) de 1996 cada dos semanas.

También se realizaron mediciones de Ψ_h , Q , T_a y humedad relativa del aire (HR) al mismo tiempo que la conductividad estomática. En este trabajo se seleccionó a Ψ_h como una medida del estado hídrico de la planta e indirectamente del estado hídrico del

substrato, debido a que las características del substrato en el Pedregal no permiten mediciones adecuadas de Ψ_s . Las mediciones de potencial hídrico foliar se hicieron con una cámara de presión (PMS, Corvallis, Oregon, EUA) como lo describieron Scholander *et al.*, (1964, 1965) y Turner (1981) en al menos dos hojas por árbol. La densidad de flujo fotónico fotosintético se midió adyacente a cada hoja con un sensor cuántico (LI-190SB, LI-COR, Ltd., Lincoln, Nebraska, EUA). La temperatura del aire y de la hoja se midieron con termopares muy finos. La humedad relativa se determinó con un sensor humicap (Vaisala, Helsinki, Finlandia) instalado en el porómetro. La diferencia de presión de vapor hoja-aire (DPV) se calculó de la siguiente ecuación:

$$(1) \quad \text{DPV} = e_{sh} - \text{HRe}_{sa}$$

donde e_{sh} y e_{sa} son la presión de vapor a saturación de la hoja y del aire, y son funciones de la temperatura de la hoja y del aire, respectivamente, y los valores de HR van de 0 a 1.

Métodos de análisis

Como se apuntó anteriormente, es muy difícil determinar la respuesta estomática con datos obtenidos en condiciones no controladas o naturales. El método que se usó para determinar el efecto de cada uno de los factores microambientales en g , es el de la función envolvente. Este método consiste en seleccionar los datos del probable límite superior de la función representada por la nube de puntos en cada uno de los diagramas producidos al graficar g como función de cualquier variable ecofisiológica (figura 1). Este método tiene dos supuestos: 1] que la función envolvente representa la respuesta óptima de g a la variable seleccionada (Q), y 2] que los puntos que caen por debajo de la función seleccionada son el resultado de un cambio en cualquiera de las otras variables (T_a , DPV y Ψ_s) (Jarvis, 1976; Fanjul y Barradas, 1985; Jones, 1992). Aunque algunas veces este método es difícil de cuantificar estadísticamente porque los datos que se escogen para definir la función envolvente tienen cierto error, su principal ventaja es la de generar una mayor información de la respuesta estomática a cada uno de los factores microambientales.

También se realizaron análisis de regresión múltiple. Esta es una de las aproximaciones más usadas en el análisis del efecto de diferentes factores en la conductividad estomática. Estos análisis pueden proporcionar resúmenes muy útiles para el entendimiento de la respuesta estomática, ya que determinan el peso de cada factor microambiental o fisiológico en g .

Resultados

Variables microclimáticas y fisiológicas

La densidad de flujo fotónico fotosintético se incrementó al transcurrir el día desde un mínimo ($\approx 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) registrado temprano por la mañana hasta alcanzar un máximo ($2030 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) hacia el mediodía para posteriormente disminuir. Los valores máximos de Q se registraron entre las 11:00 y 14:00 hora local. La característica más notable de Q fue su gran variabilidad con coeficientes de variación de hasta 120%. Esta variabilidad se registró a cualquier hora y en cualquier época del año y fue debida principalmente a la posición en que se encontraba la hoja a la hora de la medición (figura 1a). Por otro lado, al comparar los valores de Q entre la época seca y la húmeda, se encontraron diferencias significativas teniendo una intensidad más alta en la época seca ($\bar{x} = 836 \pm 36.92 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que en la húmeda ($\bar{x} = 652 \pm 39.38 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($F = 11.511_{(1,416)}$, $P = 0.0008$). También se observó un intervalo más amplio ($2020 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en la época seca que en la húmeda ($1961 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Esta diferencia posiblemente se debió a una mayor presencia de nubes durante la época húmeda que en la seca y a la posición de la hoja en el dosel de la planta.

La temperatura del aire y la diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire fueron considerablemente más altas en la época seca que en la húmeda. Las temperaturas extremas que se registraron fueron 17.2 y 38.0 °C ($\bar{x} = 26.6 \pm 0.35$ °C), en la época seca, y 17.6 y 32.6 °C ($\bar{x} = 25.53 \pm 0.23$ °C) en la época húmeda. Un análisis de varianza demostró que T_a fue más alta ($F = 6.026_{(1,416)}$, $P = 0.014$) y su intervalo fue más amplio durante la estación seca (figura 1b). El efecto de T_a se reflejó en DPV registrándose los valores más altos (6.23 kPa) ($F = 16.329_{(1,416)}$, $P = 0.0001$) y los intervalos más amplios (4.88 kPa) en la época seca que en la húmeda (figura 1c). Sin embargo, estos valores de DPV pudieron ser afectados también por la baja humedad del aire que se registró durante la estación seca.

El potencial hídrico foliar fue considerablemente más alto en la época húmeda que en la seca ($F = 25.064_{(1,464)}$, $P = 0.0001$) con variaciones de -0.65 a -0.81 MPa en la época húmeda y de -0.70 a -1.15 MPa en la época seca (figura 1d).

El efecto de los factores microambientales y fisiológicos

Densidad de flujo fotónico fotosintético

En la figura 2 se muestran las respuestas de la conductividad estomática de *Buddleia cordata* a las diferentes

Figura 1. Variables microclimáticas (Q , T_a , DPV) y fisiológicas (Ψ_h) durante uno de los días cuando se realizaron las mediciones de conductividad estomática de *Buddleia cordata* en la época húmeda (■) y seca (●). Los puntos representan la media de cinco mediciones en hojas diferentes (microclima) y dos mediciones del potencial hídrico. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

variables ecofisiológicas: Q , T_a , DPV. La respuesta a Q tanto en la época húmeda como seca fue dada por una función hiperbólica de la forma (figuras 2a y 2b):

$$(2) \quad g(Q) = AQ/(B + Q)$$

donde A es una constante y representa el valor asintótico de g que se identifica como la conductividad máxima (g_{max}) que puede presentar la hoja si todas

las variables involucradas en el proceso se encuentran en estado óptimo; mientras que B es la constante que se identifica con la sensibilidad de g a los cambios en Q . En este estudio, los valores de g_{max} y de la sensibilidad fueron de $178 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $272 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($r^2 = 0.81$, $P < 0.05$), respectivamente, en la época seca (figura 2a). Durante la estación húmeda estos valores fueron de $332 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $65 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, ($r^2 = 0.72$, $P < 0.05$), respectivamente (figura 2b).

Temperatura del aire

Las respuestas de g a la temperatura del aire, tanto en la estación seca como en la húmeda se ajustaron a funciones cuadráticas de la forma:

$$(3) \quad g(T_a) = a + bT_a + cT_a^2$$

donde a , b y c son constantes con valores de -1953.15, 187.34 y -3.8739 ($r^2 = 0.81$, $P < 0.05$), respectivamente en la estación de lluvias (figura 2d), y -193.51, 27.29 y -0.5657 ($r^2 = 0.86$, $P < 0.05$) durante la época seca (figura 2c). El rango térmico (RT) y las temperaturas cardinales (T_{min} y T_{max}) de operación estomática se calcularon a partir de la resolución de una ecuación de segundo grado usando la siguiente fórmula: T_{min} , $T_{max} = (-b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2}) / 2c$, donde a , b y c son las constantes encontradas en la ecuación 3. Para determinar la temperatura óptima y g_{max} fue necesario calcular la primera y segunda derivada de la ecuación 2. La primera derivada de esta ecuación es $g'(T_a) = b + 2cT_a \Rightarrow T_{óptima} = -(b/2c)$ y la segunda derivada es $g''(T_a) = 2c$ de donde si $c < 0$ el punto encontrado será un máximo, si $c > 0$ el punto será un mínimo, y si $c = 0$ entonces se trata de un punto de inflexión. En este análisis c fue menor que cero, lo que implica que se trata de un punto máximo.

T_{min} y T_{max} fueron de 8.6 y 39.6 °C (RT = 31.0 °C), respectivamente, mientras que $T_{óptima}$ fue 24.2 °C con una g_{max} de 136 mmol m⁻² s⁻¹ en la época seca (figura 2c). En la estación húmeda las temperaturas cardinales T_{min} fue de 15.2 °C y T_{max} de 33.2 °C (RT = 18.0 °C), respectivamente y $T_{óptima}$ fue de 24.2 °C con una g_{max} de 312 mmol m⁻² s⁻¹ (figura 2d).

Diferencia de presión de vapor hoja-aire

El efecto de DPV en el comportamiento estomático de *Buddleia cordata* en las estaciones seca y húmeda fue descrito por una relación lineal:

$$(4) \quad g(DPV) = \alpha + \beta DPV$$

donde las constantes α y β determinan g_{max} y la sensibilidad de g a los cambios en DPV, respectivamente. Estos valores durante la época seca fueron de 187 mmol m⁻² s⁻¹ (figura 2e) y de -26.9 mmol m⁻² s⁻¹ kPa⁻¹ (figura 2f), respectivamente. Para la estación húmeda α fue de 508 mmol m⁻² s⁻¹ y β de -95.9 mmol m⁻² s⁻¹ kPa⁻¹.

Potencial hídrico foliar

No fue posible establecer una correspondencia entre g y Ψ_h ya que ninguna función envolvente se ajustó

a los datos con un coeficiente de correlación aceptable tanto para la estación seca como para la húmeda. Sin embargo, al realizar un análisis anual, es decir uniendo los datos de las dos estaciones, se encontró una relación lineal: $g = A + B\Psi_h$ ($r^2 = 0.98$) donde A y B determinan g_{max} y la sensibilidad de g a Ψ_h , respectivamente. Estos valores fueron 485 mmol m⁻² s⁻¹ y 217.3 mmol m⁻² s⁻¹ MPa⁻¹.

Análisis de regresión múltiple

Al realizar un análisis de regresión múltiple se encontró que las variables que tuvieron un efecto significativo sobre g fueron T_a , DPV y Q (tabla 1) en la época seca. El efecto de T_a y Q en g fue positivo favoreciendo la apertura estomática al aumentar sus valores, mientras que el del DPV fue negativo. Por otro lado, el análisis también mostró que Ψ_h no presentó un efecto significativo en la conductividad estomática. Para la época húmeda, el análisis de regresión múltiple mostró un efecto significativo de las variables ecofisiológicas T_a , Q y DPV sobre la conductividad estomática, mientras que el efecto de Ψ_h no lo fue (tabla 1).

Sin embargo, al realizar el análisis de regresión múltiple para todos los datos (época seca y húmeda) se encontró que todas las variables involucradas, incluyendo Ψ_h tuvieron un efecto significativo en la conductividad estomática (tabla 1). Este análisis corrobora lo determinado con el método de la función envolvente

Discusión

Estudios previos sobre el efecto de las variables ecofisiológicas sobre la conductividad estomática, han demostrado que existe una diversidad considerable en las respuestas de g a los diferentes factores microclimáticos y fisiológicos (Q , T_a , DPV y Ψ_h) (Fanjul y Barradas, 1985; Roberts *et al.*, 1990; Pitman, 1996). Aunque no existen datos de conductividad estomática de comunidades vegetales estacionales templadas que se desarrollan en un litosol, los datos de g_{max} observados en *Buddleia cordata* fueron ligeramente más altos tanto en la época húmeda como en la seca (330 y 150 mmol m⁻² s⁻¹, respectivamente) que los observados por Fanjul y Barradas (1985) en *Coccoloba liebmanni* y *Jacquinia pungens* en una selva baja caducifolia y en especies arbóreas de zonas templadas, pero ligeramente más bajos que aquellos observados en especies emergentes de bosques tropicales húmedos (355 mmol m⁻² s⁻¹) (Korner, 1995; Pitman, 1996). Por lo tanto, los datos de conductividad estomática obtenidos en *Buddleia cordata* son razonablemente semejantes a otros resultados obtenidos en diferentes comunidades del mundo.

Tabla 1. Análisis de regresión múltiple para determinar el efecto de las diferentes variables microambientales y fisiológicas en la conductividad estomática de *Buddleia cordata* ($P < 0.05$).

Variable independiente	Coefficiente	Error estándar (EE)	t	Nivel de significancia
Época de secas R(ajustada) = 0.7289; EE = 19.38				
Constante	53.225	18.420	2.890	0.0044
Ta	4.900	1.418	3.455	0.0007
DPV	-47.223	5.638	-7.653	0.0000
Q	0.026	0.003	7.644	0.0000
Ψ_h	-2.312	4.512	-0.512	0.6091
Época de lluvias R(ajustada) = 0.4921; EE = 66.94				
Constante	-25.057	45.820	-0.547	0.5851
Ta	22.118	2.990	7.398	0.0000
DPV	-153.778	13.261	-11.596	0.0000
Q	0.035	0.009	3.924	0.0001
Ψ_h	-6.737	23.457	-0.287	0.7743
Anual R(ajustada) = 0.4629; EE = 61.92				
Constante	-96.807	32.451	-2.983	0.0030
Ta	25.068	2.213	11.325	0.0000
DPV	-144.576	9.457	-15.289	0.0000
Q	0.022	0.006	3.394	0.0008
Ψ_h	37.364	11.263	3.317	0.0010

Los valores de r^2 obtenidos para las diferentes curvas envolventes (figura 2) son indicativos de una buena aproximación a los intervalos de operación estomática y con los cuales se puede realizar un excelente análisis de las respuestas de g a las diferentes variables microambientales y fisiológicas. Los ajustes realizados de g en función de Q, Ta y DPV en las dos épocas mostraron una mayor sensibilidad estomática a estas variables durante la estación húmeda que durante la época seca, lo que indica que cuando existe una mayor disponibilidad de humedad, la conductividad estomática varía ampliamente ante cambios pequeños de estas variables, mientras que en la época seca la sensibilidad se reduce drásticamente. Los resultados del análisis de regresión múltiple también mostraron un comportamiento semejante de la sensibilidad estomática entre las dos épocas.

Este cambio de la sensibilidad estomática es debido probablemente a que en la época seca g_{max} se redujo alrededor de la mitad y los intervalos de operación estomática tanto en función de Ta como de DPV se ampliaron significativamente. Esta ampliación del intervalo de operación estomática en función del cambio del microclima (Ta y DPV) entre las dos

estaciones es un posible mecanismo de adaptación del aparato estomático a la variabilidad del medio, aunque las temperaturas óptimas de esta función no cambiaron significativamente entre las dos épocas. Es también evidente que tanto la reducción de g como la menor sensibilidad de los estomas en la estación seca es un mecanismo de conservación de agua que presenta esta especie.

Por otro lado, es interesante notar que el efecto de Ψ_h en la conductividad estomática no fue significativo en las dos diferentes épocas. Sin embargo, al realizar un análisis anual, tanto del método de las envolventes como el de regresión múltiple, éstos determinaron un efecto significativo sobre g . Esta respuesta probablemente se debe a que los cambios registrados de Ψ_h durante la época seca o húmeda fueron muy pequeños, pero que sin embargo cuando se unen las dos épocas la variabilidad de Ψ_h fue lo suficientemente alta como para presentar un efecto significativo sobre g . Aunque los efectos de Ψ_h no se han estudiado profundamente en el mundo en comunidades vegetales naturales y principalmente en comunidades como la del Pedregal de San Angel, los datos que se han generado muestran un efecto sig-

Figura 2. Nubes de puntos de conductividad estomática (g) graficada contra la densidad de flujo fotónico fotosintético (Q), temperatura del aire (T_a) y diferencia de presión de vapor hoja-aire (DPV) durante la época seca (a, c y e) y húmeda (b, d y f). Las curvas envolventes indican el probable límite superior de las mediciones.

nificativo de Ψ_h sobre la conductividad estomática (Whitehead, *et al.*, 1981; Fanjul y Barradas, 1985; Mullerstael y Bruenig, 1987; Borchert, 1994; Pitman, 1996). Esto conlleva a que probablemente es necesario tomar varias muestras de datos a través del año en sistemas estacionales, y no una sola muestra como es el caso de algunos trabajos como el de Pitman (1996).

Ecológicamente *Buddleia cordata* es una especie que está bien adaptada a las condiciones de sitios y substratos que son más xéricos que méxicos y es común en sitios donde los suelos no retienen mucha humedad. Sus hojas tienen la característica (pubescencia y tonos claros en el envés) de ambientes más secos, además de presentar un índice de área foliar menor durante la época seca que en la húmeda (datos sin publicar). Por otro lado, probablemente desarrolle un sistema radical de suficiente densidad y profundidad para alcanzar suficiente humedad en estratos más profundos del substrato. Sin embargo, muy poco se conoce del papel que juega el sistema radical en plantas de comunidades vegetales en el trópico templado.

Sería muy interesante investigar si otras especies de sitios más secos o más húmedos en el trópico templado tienen respuestas semejantes a las diferentes variables microclimáticas y fisiológicas, sobre todo al estrés hídrico estacional. Por ello, es necesario generar más datos de campo de diferentes especies de diferentes comunidades vegetales del trópico templado.

Finalmente, se puede concluir que la cantidad de datos obtenidos en *Buddleia cordata* en el Pedregal de San Angel, fue suficiente para realizar los análisis presentados en esta investigación y que estos resultados se podrán usar en cualquier modelo para simular o predecir la conductividad estomática tales como el de Jarvis (1976), o el de Penman-Monteith (Monteith, 1965).

Agradecimientos

Agradecemos sinceramente al Dr. Carlos Vázquez Yanes el apoyo y sugerencias vertidas durante el desarrollo de este trabajo. Esta investigación fue patrocinada por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM bajo convenio Núm. IN210995.

Literatura citada

Borchert R. 1994. Water status and development of tropical trees during seasonal drought. *Trees* 8:115-125.
Fanjul L. y Barradas V.L. 1985. Stomatal behaviour of two heliophile understorey species of a tropical deciduous forest in Mexico. *Journal of Applied Ecology* 22:943-954.

Jarvis P.G. 1976. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London. B* 273:593-610.
Jones H.G. 1992. *Plants and Microclimate*. Cambridge University Press. Cambridge.
Jones H.G. y Higgs K.H. 1989. Empirical models of the conductance of leaves in apple orchards. *Plant, Cell and Environment* 12:301-308.
Korner Ch. 1995. Leaf diffusive conductances in the major vegetation types of the globe. En: Schulze E.D. y Caldwell M.M. Edrs. *Ecophysiology of photosynthesis*. Springer-Verlag, Heidelberg, 463-490.
Lange O.L., Losch R., Schulze E-D y Kappen L.K. 1971. Responses of stomata to changes in humidity. *Planta* 100:76-86.
Meidner H. y Mansfield T.A. 1968. *Physiology of Stomata*. McGraw-Hill. Maidenhead.
Monteith J.L. 1965. Evaporation and environment. En: Soc. Exp. Biol. Symposium XIX. Edr. State and movement of water in organism. Cambridge University Press, Cambridge. 205-234.
Mullerstael H. y Bruenig E.F. 1987. Water relations and gas exchange of tropical rainforest tree species under stress, Manilkara sp. from high caatinga forest at San Carlos de Río Negro-Venezuela. En: Sethuraj M.R. y Raghavendra A.S. Edrs. *Tree crop physiology*. Elsevier, Oxford. 121-138.
Pitman J.I. 1996. Ecophysiology of tropical dry evergreen forest, Thailand: measured and modelled stomatal conductance of *Hopea ferrea*, a dominant canopy emergent. *Journal of Applied Ecology* 33:1366-1378.
Roberts J., Cabral O.M.R. y de Aguiar L.F. 1990. Stomatal and boundary layer conductances in an Amazonian terra firma rain forest. *Journal of Applied Ecology* 27:336-353.
Rzedowski J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Angel. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 8:59-129.
Rzedowski J. 1986. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México.
Sánchez-Huerta J.B.C. 1990. Análisis de algunas variables meteorológicas y su área de influencia en Ciudad Universitaria, D.F., durante el período 1963 a 1983. Tesis de licenciado en Geografía. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D.F.
Scholander P.F., Hammel H.T., Hemmingsen E.A. y Bradstreet E.D. 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and other plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.* 52:119-125.
Scholander P.F., Hammel H.T. Bradstreet E.D. y Hemmingsen E.D. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148:339-346.
Stalfelt M.G. 1955. The stomata as hydrophotic regulator of water deficit of the plant. *Physiologia Plantarum* 8:572-593.

- Turner N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil* 58:339-366.
- Valiente-Banuet A. y de Luna García E. 1990. Una lista florística actualizada para la reserva del Pedregal de San Angel. *Acta Botánica Mexicana* 9:13-30.
- Whitehead D., Okali D.J.J. y Fasehun F.E. 1981. Stomatal responses to environmental variables in two tropical forest species during the dry season in Nigeria. *Journal of Applied Ecology* 18:571-587.

RECURSOS GENÉTICOS DE MÉXICO

México es uno de los países de mayor diversidad vegetal del mundo. Las altas especies de plantas que se distribuyen por el territorio nacional, así como la variabilidad genética que existe dentro de las mismas, representan un valioso legado de recursos genéticos a partir del cual pueden contribuir a atender las necesidades para el desarrollo agrícola. Al mismo tiempo, México, perteneciente al área cultural conocida como Mesoamérica, se sitúa entre las principales zonas de domesticación de plantas en el mundo, entre las cuales se encuentran variedades de plantas que han aportado alimentos agrícolas que proveen la alimentación humana. La zona del Cono Sur Americano es una de las principales zonas de origen de especies de plantas que hoy día se producen en los campos de cultivo a nivel mundial.

La extraordinaria diversidad biológica y los recursos genéticos de México constituyen un valioso legado de recursos genéticos que han podido contribuir a atender las necesidades para el desarrollo agrícola. Sin embargo, la gran diversidad de plantas que constituyen los recursos genéticos de México, así como la gran variabilidad genética que existe dentro de las mismas, representan un valioso legado de recursos genéticos que han podido contribuir a atender las necesidades para el desarrollo agrícola.

La extraordinaria diversidad biológica que ha permitido utilizar parte de los recursos genéticos del país se encuentra distribuida en miles de comunidades rurales, especialmente en las zonas de alta diversidad cultural indígena. Las comunidades quechuas, por ejemplo, han permitido documentar parte de sus conocimientos y sus variedades de plantas que hoy día son 3 000 y 7 000 especies de plantas que se han conservado en algunas zonas. Estas variedades de plantas que se han conservado en las comunidades rurales representan una fuente de recursos genéticos que hoy día se están utilizando para el desarrollo agrícola.

Con aún muchas las regiones no exploradas desde el punto de vista genético, y mucho también lo que falta por estudiar acerca